

**UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE VERJÜNGUNG VON
NOTHOFAGUS ALPINA (POEPP. et ENDL.) OERST.
UND IHRER WICHTIGSTEN BEGLEITBAUMARTEN
IN DER CHILENISCHEN ANDEN-
UND KÜSTENKORDILLERE**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von
BURKHARD MÜLLER-USING
aus Hannoversch Münden

1973

1974
—

**UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE VERJÜNGUNG VON
NOTHOFAGUS ALPINA (POEPP. et ENDL.) OERST.
UND IHRER WICHTIGSTEN BEGLEITBAUMARTEN
IN DER CHILENISCHEN ANDEN-
UND KÜSTENKORDILLERE**

**INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München**

**vorgelegt von
BURKHARD MÜLLER-USING
aus Hannoversch Münden**

1973



Tag der mündlichen Prüfung: 6.2.1974

Dekan: Prof. Dr. H. Löffler

Berichterstatter: Prof. Dr. P. Burschel

Prof. Dr. F. Franz

V o r w o r t

Die vorliegende Arbeit entstand während eines dreijährigen Aufenthaltes an der Forstlichen Fakultät der Universidad Austral in Valdivia, Chile, in der Zeit von 1969 bis 1972.

Diese Auslandstätigkeit ist zu sehen vor dem Hintergrund des Patenschaftsvertrages zwischen der Georg-August-Universität in Göttingen und der genannten chilenischen Institution. Herrn Prof. Dr. A. Bonnemann, als einem der federführenden Betreuer dieses interuniversitären Abkommens verdanke ich manche Hilfe bei der Verwirklichung des Unternehmens, das in seiner ersten Phase durch ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes gefördert wurde.

Auch der Niedersächsischen Landesforstverwaltung, die mich für den entsprechenden Zeitraum freistellte, gebührt Dank für ihr Verständnis und ihre Aufgeschlossenheit diesem Vorhaben gegenüber.

Die entscheidende Anregung für das Forschungsprojekt selbst stammt von Herrn Prof. Dr. P. Burschel, seinerzeit Direktor des Waldbau-Instituts in Valdivia und Dekan der dortigen Forstlichen Fakultät. Auch die Themenwahl geht auf seine Vorstellungen zurück. Für seine tatkräftige Unterstützung und Ermutigung sowie für viele sachkundige Ratschläge während der Außenarbeiten und bei Erstellung des Manuskripts schulde ich ihm aufrichtigen Dank.

Herr Prof. Dr. F. Loetsch und sein leider so frühzeitig verstorbener Mitarbeiter im Fachgebiet Waldinventur der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Herr Dr. K.E. Haller halfen mir bei der Einarbeitung in die methodische Problematik von Verjüngungsinventuren. Herrn Loetsch sei auch für seine Beratung bei der Abfassung eines Abschnitts im methodischen Teil der Arbeit gedankt.

Die Durchführung der Außenarbeiten einschließlich der Aufbereitung des gewonnenen Datenmaterials wäre undenkbar ohne die tätige Mithilfe, die ich von Studenten der forstlichen Fachsemester an der Universidad Austral erfuhr.

Besondere Erwähnung verdient der engagierte Einsatz der Herren F. Drake und R. Unibazo während der Methodenstudie. Herr M. Rosenfeld war an den Verjüngungsaufnahmen im Exploitationsgebiet Arquihue entscheidend beteiligt, und die Herren F. Ojeda und G. Medina haben einen gewichtigen Anteil an den übrigen Inventurarbeiten. Bei der Ausführung der Lichtmessungen nebst zugehöriger Rechenarbeiten erfuhr ich wertvolle Unterstützung durch Herrn Miguel Espinoza.

Dank sagen möchte ich an dieser Stelle auch Herrn Prof. Dr. W. Moll, damals Leiter des Instituts für Forstliche Bodenkunde in Valdivia, unter dessen Anleitung die Bodenanalysen durchgeführt wurden und der trotz zeitraubender und mühsamer Anmarschwege viele Untersuchungsflächen persönlich aufsuchte, um sich an Ort und Stelle einen Eindruck von den Bodenverhältnissen zu verschaffen.

Organisatorische Unterstützung wurde mir auch von Herrn Prof. Dr. G. Eisenhauer in seiner Eigenschaft als Leiter des deutschen Teams an der Universidad Austral zuteil.

Dankend erwähnt sei nicht zuletzt die finanzielle Förderung durch die chilenische Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), die die Geldmittel für die umfangreichen Außenarbeiten bereitstellte.

Die Ausstattung mit grafischen Darstellungen und Bestandesprofilen besorgte Herr Högel vom Waldbau-Institut in München, dem ich dafür sehr verbunden bin, ebenso wie Frau Graupner vom Waldbau-Institut der Universität Göttingen für ihre rasche und exakte Schreibaarbeit.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
0	Einleitung und Problemstellung	1
0.1	Einführung in die Vegetations- verhältnisse Chiles	1
0.11	Gliederung der Waldtypen nach forst- wirtschaftlichen Gesichtspunkten	8
0.12	Die Bedeutung der Baumart <u>Nothofagus</u> <u>alpina</u> (= Rauli) innerhalb des chile- nischen Naturwaldes	12
0.2	Problemstellung	17
1	Methoden der Verjüngungsinventur für waldbauliche Zwecke	20
1.1	Verfahren zur Einschätzung von Dichte und Verteilung	21
1.11	Die Einschätzung der Dichte mit Hilfe von Probeflächen	21
1.12	Die Einschätzung der Dichte mit Hilfe von Abstandsverfahren	28
1.121	Ordnungsmethoden	30
1.122	Winkelmethoden	32
1.123	Kombinierte Verfahren	35
1.124	Erfahrungen mit Dichte-Schätz- zahlen bei Abstandsverfahren	39
1.13	Kennzeichnung des Verteilungstyps durch Analyse von Probeflächen- daten	42
1.14	Kennzeichnung des Verteilungstyps durch Verwendung von Abstandsdaten	48
1.15	Kennzeichnung des Verteilungstyps durch Kombination von Probeflächen- daten und Abstandsdaten	53
1.2	Vorstudien zur Anpassung der ausge- wählten Aufnahmemethoden an die gegebene Verjüngungssituation	63

1.21	Aufnahmeprogramm	63
1.22	Beschreibung der Aufnahme­fläche	63
1.23	Anpassung des Probeflächenver­fahrens	65
1.231	Schätzung der Individuenzahl pro Flächeneinheit	67
1.232	Studium der Verteilungsstruktur auf Basis der Probekreisdaten	68
1.24	Anpassung des Abstandverfahrens	72
1.25	Verwendung von Abständen niederer Ordnung	73
1.251	Dichteschätzung	73
1.252	Studium der Verteilungsstruktur auf Basis der Abstandsdaten	75
1.253	Quantifizierung der Konkurrenz­vegetation	77
1.3	Qualitätsansprache als ergänzende Information in Verjüngungen des vorgefundenen Typs	77
1.4	Verfahrensvergleiche auf größerer Fläche und unter wechselnden Populationsbedingungen	83
1.41	Aufnahme­flächen	83
1.411	Exploitationsgebiet Trafun	83
1.412	Exploitationsgebiet Arquilhue	84
1.42	Ergebnisse	86
1.421	Resultate Trafun	86
1.422	Resultate Arquilhue	93
1.423	Erfahrungen mit Meßfehlern in Abhängigkeit vom gewählten Abstand	95
1.43	Abschließende Beurteilung der erprobten Verfahren und Empfehlungen für ihren Anwendungsbereich	96

2	Bestandes- und Verjüngungs- analysen verschiedener Nothofagus- alpina-Vorkommen im Gesamtbereich seines natürlichen Areals	99
2.1	Problemstellung und Auswahl der Untersuchungsflächen	99
2.2	Beschreibung und Aufnahmeer- gebnisse der ausgewählten Urwaldparzellen	105
2.21	Urwaldparzelle ARQUILHUE	105
2.211	Beschreibung	105
2.212	Aufnahmeergebnisse	107
2.22	Urwaldparzelle NIBLINTO	116
2.221	Beschreibung	116
2.222	Aufnahmeergebnisse	117
2.23	Urwaldparzelle NAHUELBUTA	121
2.231	Beschreibung	121
2.232	Aufnahmeergebnisse	123
2.24	Urwaldparzelle LOS CHENQUES	128
2.241	Beschreibung	128
2.242	Aufnahmeergebnisse	129
2.25	Urwaldparzelle PARRAL	132
2.251	Beschreibung	132
2.26	Ergebnisse der Bodenanalysen	135
2.261	Probenentnahme	136
2.262	Analyseergebnisse	136
2.3	Verjüngungsanalysen in gestörten Waldbildern	145
2.31	Typische Formen menschlicher Eingriffe und Auswahl von Bei- spielen	145
2.32	HUEINAHUE	147
2.321	Beschreibung der Parzelle	147

		Seite
2.322	Aufnahmeergebnisse	147
2.33	TRAFUN und NAHUELBUTA II	150
2.331	Beschreibung	150
2.332	Aufnahmeergebnisse TRAFUN	151
2.333	Aufnahmeergebnisse NAHUELBUTA II	151
2.34	LLAIMA	153
2.341	Beschreibung	154
2.342	Aufnahmeergebnisse	156
2.35	ARQUILHUE	157
2.351	Beschreibung	158
2.352	Aufnahmergebnisse	161
2.36	Schlußbemerkung	165
2.4	Diskussion der Inventurergebnisse und Folgerungen	165
2.41	Ungestörte Waldbilder	165
2.42	Gestörte Waldbilder	170
2.421	Totalzerstörung des Urwaldes	170
2.422	Teilzerstörte Wälder	171

	Seite
3	Lichtökologische Untersuchungen in Urwaldbeständen von <u>Nothofagus alpina</u> 176
3.1	Problemstellung 176
3.2	Literaturübersicht und Diskussion methodischer Probleme 177
3.21	Erfassung des für die Wachstums- vorgänge relevanten Spektral- bereichs 177
3.22	Die Frage des repräsentativen Zeitraumes bei Licht- bzw. Strahlungsmessungen 180
3.23	Repräsentation räumlicher Schwankungen der Lichtintensität 182
3.24	Probleme der Auswertung und Dar- stellung des Datenmaterials aus Lichtmessungen in Beständen 183
3.25	Beziehungen zwischen dem Licht- klima im Bestand und anderen Bestandesparametern 187
3.3	Planung und Durchführung der Licht- messungen im Rauli-Wald 188
3.31	Meßgeräte 188
3.32	Vorbereitungen der Aufnahmeflächen und Durchführung des Meßvorganges 189
3.4	Ergebnisse 195
3.41	Ermittlung von Flächendurchschnitts- werten zur Charakterisierung des Lichtklimas in verschiedenen Ur- wäldern vom Typ Rauli-Coigüe (Roble) 195
3.411	Einfluß einer Wolkendecke auf relative und absolute Helligkeit im Bestand 200
3.412	Zustand des Blätterdaches und sein Einfluß auf relative und absolute Helligkeit im Bestand 204
3.413	Beziehungen zwischen relativer Bestandeshelligkeit und Kreisfläche 205

		Seite
3.414	Beziehungen zwischen relativer Bestandeshelligkeit und dem Vorhandensein von Nothofagus-verjüngung	205
3.42	Ermittlung von Näherungswerten bezüglich der Minimalbedürfnisse an Licht von Nothofaguspflanzen in der Verjüngungsetage	208
3.5	Diskussion und Folgerungen	213
4	Zusammenfassung	216
	Literaturverzeichnis	222

0 Einleitung und Problemstellung

0.1 Einführung in die Vegetationsverhältnisse Chiles

Das Vegetationskleid Chiles ist mehrfach und aus verschiedenen Gesichtswinkeln beschrieben und gegliedert worden. Schon von seinen geografischen Grundgegebenheiten her stellt der langgestreckte Andenstaat, der sich vom subtropischen Klimagürtel der Südhemisphäre (ca. 17° S) bis an den Rand des subpolaren Klimabereichs¹⁾ ausdehnt (ca. 56° S), ein besonders reizvolles Studienobjekt für Pflanzengeografen und Vegetationskundler dar.

Hinzu kommt - zumindest vom 42° Breitengrad ab nordwärts - eine verhältnismäßig klare orografische Gliederung in Küstenkordillere, Längssenke und Anden-Westabfall, die die Überschaubarkeit und Darstellbarkeit des Vegetationsbildes sehr begünstigt.

Schon 1907 hat REICHE einen ersten Versuch unternommen, die chilenische Vegetation über die gesamte Ausdehnung des Landes hin zu beschreiben und zu ordnen. Seine "Grundzüge der Pflanzenverbreitung in Chile" gelten noch heute als wertvolles Fundament der floristischen Forschung in diesem Lande. Hier findet sich auch eine erste Zerlegung des chilenischen Territoriums in pflanzengeografische Gebiete, die jedoch angesichts der großen Schwierigkeiten, mit denen der reisende Naturforscher in jener Zeit zu kämpfen hatte, notwendigerweise noch recht grob und lückenhaft ausfiel.

BERNINGER, 1929, beschäftigte sich mit den Vegetationsverhältnissen im Bereich des chilenischen "Kleinen Südens" zwischen 37° und 42° S. In diesen Bereich fallen die verschiedensten Waldformationen, die er ausführlich

1) siehe v. WISSMANN'sche Karte "Die Klimate der Erde" in BLÜTHGEN, 1966

beschreibt. Abb. 1 a gibt eine Übersicht über die von ihm ausgeschiedenen Waldtypen und zeigt deren räumliche Verbreitung.

SCHMITHÜSEN (1953, 1956) gelangte aufgrund eingehender pflanzengeografischer Studien zu einer ersten räumlichen Gliederung der gesamten Landesfläche in 12 Vegetationsgebiete (siehe Abb. 1 b), eine Arbeit, die ihres grundlegenden Charakters wegen starke Beachtung in der einschlägigen Chile-Literatur gefunden hat.

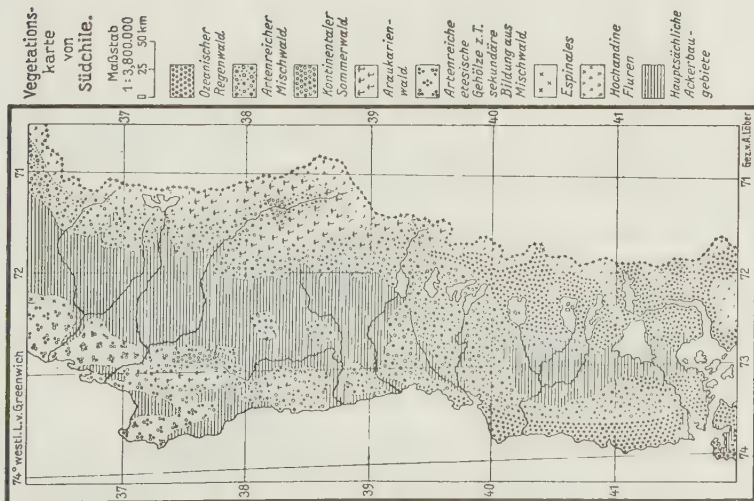
Dabei sind vier Gebiete aus dem forstlichen Blickwinkel von besonderem Interesse:

Während das "Hartlaubgebiet" im zentralen Teil Chiles heute nur noch über Nebenprodukte, wie die Rinde von Quillaja saponaria MOL., die Blätter von Peumus boldus MOL. oder den Palmensirup von Jubea chilensis (MOL.) BAILLON, an der forstlichen Produktion beteiligt ist¹⁾, kommt dem südlich angrenzenden Vegetationsgebiet des "temperierten Sommerwaldes der gemäßigten Zone" bereits eine bedeutende forstwirtschaftliche Rolle zu.

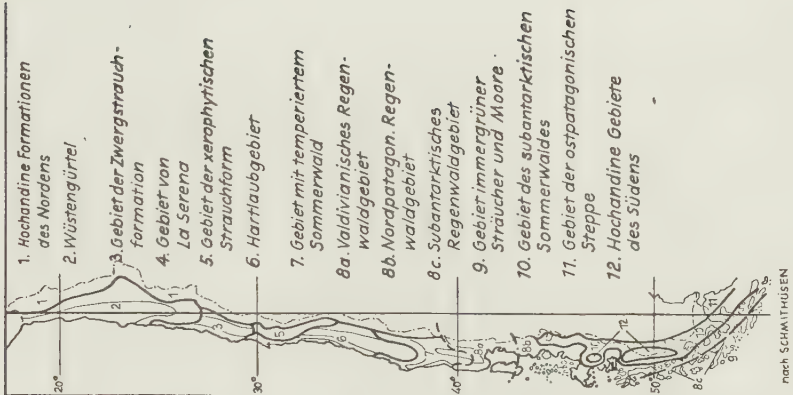
Neben einigen immergrünen Baumarten vom "Lorbeer-Typ" enthält diese Waldformation die sommergrünen Südbuchenarten Nothofagus obliqua (MIRB) BL. und Nothofagus alpina (POEPP. et END.) OERST., die nach Wuchsleistung, -form und Holzqualität zu den wichtigsten Vertretern der chilenischen Baumarten gehören.

SCHMITHÜSEN unterscheidet hier zwischen dem Roble-Laurel-Lingue-Wald der tieferen Lagen, der durch N. obliqua (= Roble), Laurelia sempervirens (R. et PAV.) TUL. (= Laurel) und Persea lingue NEES. (= Lingue) charakterisiert wird, und dem Raulí-Wald der höheren Lagen, der als

- 1) Der Wert der jährlichen Ausfuhren von Quillay-Rinde, die für die Herstellung feiner Seifenprodukte verwandt wird, schwankte von 1968 bis 1971 zwischen 400.000 und 1 Million Dollar.
Boldo-Blätter werden zur Herstellung medizinischer Tees verwandt. Das jährliche Exportvolumen beträgt rd. 500 Tonnen, was einem Wert von 65.000 Dollar entspricht, INSTITUTO FORESTAL, 1972



a)



b)

Abb. 1
Gliederungsversuche der chilenischen Vegetation aus pflanzengeografischer Sicht
a) Vegetationskarte von Südchile nach BERNINGER, 1929
b) Räumliche Gliederung der chilenischen Vegetation nach SCHWITTHUSEN, 1953.

fast reiner N. alpina-Wald geschildert wird.

In der obersten Höhenstufe, schließlich, erscheinen dann als spezifische Besonderheit in diesem Vegetationsgebiet die Araukarienwälder. Die Charakterart dieser Waldgesellschaft, Araucaria araucana (MOL.) C. KOCH, spielt neben ihrer Nutzholzungtauglichkeit heute noch eine Rolle für die Ernährung der Bergbewohner, die sich alljährlich Wintervorräte an "piñones", den großen eßbaren Samenkernen dieser Art, anlegen.

Dem temperierten Sommerwald schließt sich das Vegetationsgebiet der "immergrünen Regenwälder der gemäßigten Zone" nach Süden hin an. Dieser Wald ist in seinem klimatischen Optimum durch großen Artenreichtum und enorme Produktionsleistungen gekennzeichnet und in dieser Ausprägung als "Valdivianischer Regenwald" in die Literatur eingegangen. (HUECK, 1966). Für das gesamte, ausgedehnte Vegetationsgebiet der immergrünen Regenwälder gilt die ganzjährig belaubte Südbuchenart Nothofagus dombeyi (MIRB.) OERST., im Lande Coigüe, auch Coihue genannt, als eine der markantesten Charakterarten. Ihr gesellen sich je nach geografischer bzw. Höhenlage und standörtlichen Gegebenheiten die verschiedensten immergrünen Laub- und Nadelbaumarten zu. Von forstlicher Bedeutung unter den Laubhölzern sind Eucryphia cordifolia (CAV.) = Ulmo, Aextoxicon punctatum (R. et PAV.) = Olivillo, Weinmannia trichosperma (CAV.) = Tineo, Drimys winteri (FORST.) = Canelo und Laurelia philippiana (LOOSER) = Tepa.

An Nadelhölzern sind die eibenähnliche Saxegothea conspicua (LINDL.) = Mañío hembra, Podocarpus nubigenus (LINDL.) = Mañío macho sowie auf Sonderstandorten Fitzroya cupressoides (MOL.) JOHNST. = Alerce und Pilgerodendron uviferum (DON.) FLOR. = Ciprés de las Guaitecas von einiger Bedeutung.

An die immergrünen Regenwälder der gemäßigten Zonen grenzt im Süden schließlich das Vegetationsgebiet des subantarktischen Sommerwaldes an, mit den beiden sommergrünen Südbuchenarten Nothofagus pumilio (POEPP. et ENDL.) KRASSER

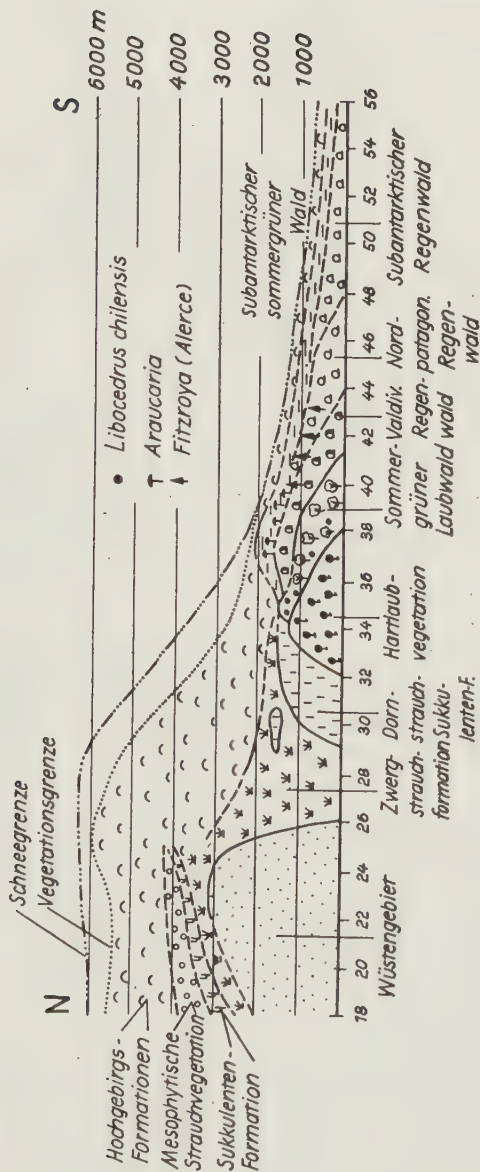


Abb. 2 Vertikale Abfolge chilenischer Vegetationsformen nach SCHMITHÜSEN

= Lenga und Nothofagus antarctica (FORST.) OERST. =
Nirre, die zwei von einander abgesetzten Waldgürteln
jeweils ihr Gepräge geben.

So ergibt sich von Nord nach Süd mit abnehmender Wärme
und zunehmender Niederschlagssumme eine mehr oder weniger
klare Abfolge von Vegetationsformen, die im Süden fast
überall aus Wald bestehen. Diese Sequenz taucht analog
auch in vertikaler Richtung auf, wie SCHMITHÜSEN in einem
Höhenprofil des Westabfalls der Andenkordillere veran-
schaulicht (siehe Abb. 2). Hier findet sich, um ein Bei-
spiel zu nennen, auf gleichbleibender geografischer Breite
von 37° in den Niederungen die Hartlaubvegetation, die ab
ca. 500 m ü. NN. vom sommergrünen Laubwald der gemäßigten
Zone abgelöst wird. Darüber greift eine artenverarmte Aus-
prägung des Valdivianischen Regenwaldes mit Nothofagus dom-
beyi, die ihrerseits ab 1.600 m überlagert wird von einem
Keil des subantarktischen sommergrünen Waldes mit Notho-
fagus pumilio und Nothofagus antarctica. Die letztgenannte
Baumart bildet hier die Baumgrenze.

Dieses großräumige Einteilungsgerüst SCHMITHÜSENS arbeitet
gleichsam die Grundkonturen der Waldverteilung innerhalb
der chilenischen Forstregion heraus, ohne dabei auf ört-
liche Feinheiten oder Abweichungen von der Regel näher
einzugehen.

OBERDORFER, 1960, kommt aus pflanzensoziologischer Sicht
zu einem ähnlichen Gebäude, dessen Innenausbau entsprechend
der induktiven Arbeitsmethode weiter vorangetrieben werden
konnte. Dabei erweist sich der Weg, von der Vegetations-
aufnahme her ein in sich logisches und umfassendes System
zu errichten, angesichts der noch bestehenden Material-
lücken als etwas problematisch.

Die sommergrünen Laubwälder der gemäßigten Zonen werden
mit den immergrünen Regenwäldern in einer Klasse der
"Südchilenischen Lorbeerwälder" zusammengefaßt, deren
forstlich bedeutender Ordnung (Laurelietalia) einerseits
der "Valdivianische Lorbeerwald", andererseits der "nord-
patagonisch-subantarktische Lorbeerwald" als Verbände

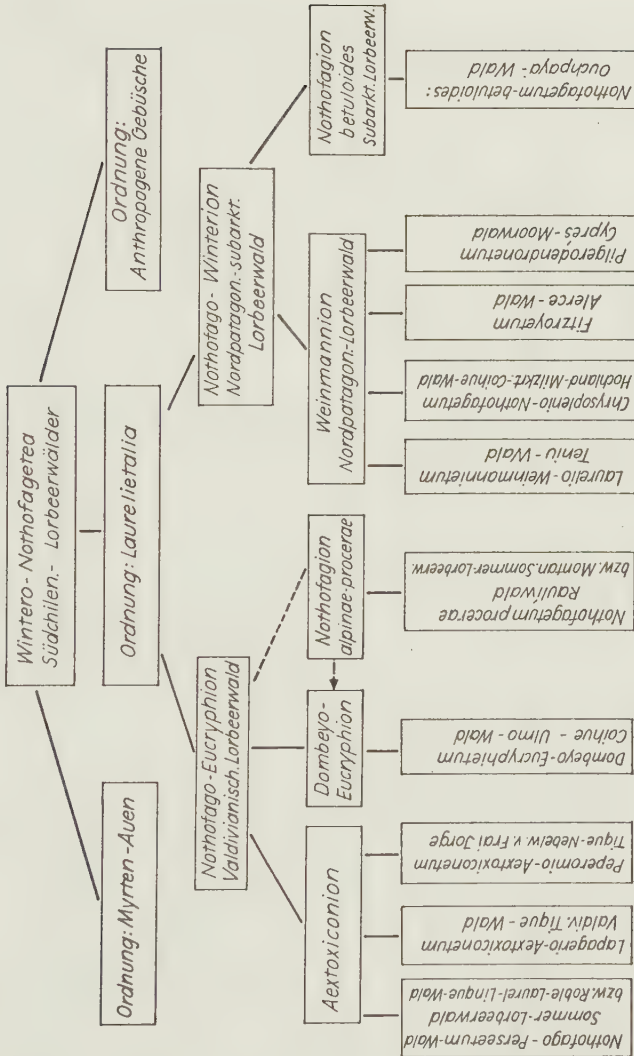


Abb. 3 Pflanzensoziologischer Gliederungsversuch der südchilenischen Waldformationen nach OBERDORFER

unterstellt werden. Es folgt eine Ebene von Unterverbänden, die schließlich die verschiedenen Assoziationen beherbergen (s. Abb. 3).

Dabei kommt es vertikal wie horizontal zu Abgrenzungsschwierigkeiten, wie im Falle des Rauli-Waldes der höheren Lagen (nach SCHMITHÜSEN), der sich anhand des zugrundegelegten Aufnahmematerials keinem der ausgeschiedenen Verbände ohne weiteres unterstellen läßt und daher potentiell als eigenständiger Verband hingestellt werden muß.

Während in den bisher zitierten Arbeiten die genannten Waldtypen so beschrieben werden, wie sie sich auf der westlichen Andenseite auf chilenischem Territorium darstellen, liefert HUECK, 1966, die notwendige Ergänzung für den ostandinavischen (argentinischen) Bereich. Danach sind in den höheren Lagen die Verhältnisse zunächst noch ähnlich: Araukarienwälder, die hier etwas weiter nach Süden vorstoßen, bilden zusammen mit N. antarctica und N. pumilio den obersten Waldgürtel. Im Anschluß daran spielen N. dombeyi und - in geringerem Maße - N. alpina noch eine Rolle, während die nächst tiefer gelegene Stufe, der "Valdivianische Regenwald", angesichts des sehr viel kontinentaleren Klimas nicht mehr zur Ausbildung gelangt. In vergleichbarer Höhenstufe dominiert stattdessen Austrocedrus chilensis (D.DON) FLORIN et BOUTELJE, eine Cupressacee, die in Chile südwärts des Villarica-Sees nicht mehr vorkommt, in Argentinien jedoch viel weiter südlich noch ausgedehnte Reinbestände bildet.

01.1 Gliederung der Waldtypen nach forstwirtschaftlichen Gesichtspunkten

So unbestreitbar der Wert der genannten Vegetationsbeschreibungen für den ökologisch interessierten Forstmann ist, so wollen und können sie andererseits keine Antwort auf spezifisch forstwirtschaftliche Problemstellungen geben. Neben der Frage, welche Waldtypen

überhaupt vorkommen, interessieren ja vor allem ihre örtliche Lage, Flächenausdehnung, Altersphasen, Holzartenzusammensetzung und Massenhaltigkeit, Fakten also, die nur eine forstlich ausgerichtete Waldinventur liefern kann.

Für die "Forstregion" Chiles als ganzes, so, wie sie WECK (1957) definierte, nämlich als den forstwirtschaftlich bedeutsamen Landesteil zwischen dem 37. und 44. Breitengrad südl. Breite, liegt seit 1967 eine vorläufige Klassifizierung nach forstwirtschaftlichen Gesichtspunkten vor (INSTITUTO FORESTAL, 1967), die den Naturwald einschließlich seiner Sekundärformationen in verschiedene Forsttypen untergliedert. Auf der Basis von Luftbildaufnahmen wurde eine Karte im Maßstab 1:500 000 erstellt, die über Lage und Ausdehnung der Typen Auskunft gibt. Tabelle 1 faßt die wichtigsten Daten dieses Flächeninventars zusammen.

Es wurde zwischen Urwäldern und Sekundärwäldern unterschieden. Dabei zeichnen sich die Urwälder meist durch starke Überalterungserscheinungen aus. Häufig sind es auch nicht mehr unberührte Wälder im strengen Sinne des Wortes, weil mancherorts schon frühzeitig bestimmte, besonders interessante Baumarten herausgezogen worden sind, ohne daß das Bestandesgefüge zerstört wurde. Das gilt besonders für die Typen "Valdiviano" und "Roble-Raúl". Mancher Bestand mag nur deshalb dem Coigue-Typ zugeschlagen worden sein, weil N. dombeyi als wirtschaftlich weniger interessant zurückblieb und mit seinem alles überragenden Kronendach im Luftbild einen intakten Urwald vorgetäuscht hat.

Die Sekundärwälder haben durchweg noch nicht die Hiebsreife erreicht. Hier handelt es sich um Flächen, die nach vorausgegangener Brandwirtschaft oder Exploitation durch natürliche Ansamung bzw. Ausschlagsverjüngung wieder eine forstliche Bestockung tragen. Pflegerische Eingriffe in diese Verjüngungsflächen gab und gibt es bis heute nur in Ausnahmefällen. Die chilenischen "Reno-vales" stehen daher in qualitativer Hinsicht weit hinter

Forsttyp	P r o v i n z e n									
	Arauco	Bio-Bio	Malleco	Cautin	Valdivia	Osnoro	Llanquihne	Chiloé	ges. Forst-region	% abgerdt.
Urwälder:										
Araukarie	4.190	14.364	71.744	53.292	1.850	-	-	-	145.440	4
Coigüe	2.360	17.036	44.259	136.723	238.850	51.908	381.579	239.757	1112.472	32
Valdiviano	13.940	-	-	39.142	199.690	178.538	273.623	444.999	1149.922	33
Roble-Rauli	530	1.559	6.845	8.086	74.630	-	-	-	91.650	3
Chilote	-	-	-	-	-	19.766	86.474	142.741	248.981	7
Lenga	-	16.257	27.062	4.778	78.320	13.208	65.902	82.903	288.430	8
Alerce	-	-	-	-	4.060	4.987	43.692	1.370	54.109	2
Ciprés	-	-	-	-	-	6.188	2.367	155.483	164.038	5
Zwischensumme	21.020	49.216	149.910	242.021	597.400	274.595	853.637	1067.253	3255.052	94
Sekundärwälder:										
Coigüe-Valdiviano	56.380	-	-	6.616	14.410	-	-	-	77.406	2
Roble-Rauli	-	61.018	44.743	27.014	7.760	7.851	2.913	-	151.299	4
Zwischensumme	56.380	61.018	44.743	33.630	22.170	7.851	2.913	-	228.705	6
Gesamte mit einheimischen Wirtschaftsbäumen bestockte Fläche	77.400	110.234	194.653	275.651	619.570	282.446	856.550	1067.253	3483.757	100

Tab. 1 Zusammenstellung der Forsttypen und ihrer Flächenausdehnung in ha nach Provinzen im Anhalt an INSTITUTO FORESTAL, 1967.

Abb. 4
Verbreitung der Ur- und Sekundärwälder des Forsttyps „Roble Rauli“ im Anhalt an die Forsttypen-Karte des INSTITUTO FORESTAL, 1967

Roble-Rauli - Urwälder
Roble-Rauli-Sekundärwälder

den bewirtschafteten Sekundärwäldern anderer Waldregionen der Nord- und Südhemisphäre zurück.

01.2 Die Bedeutung der Baumart Nothofagus alpina (= Raulí) innerhalb des chilenischen Naturwaldes

Besonderes Augenmerk soll hier dem Forsttyp Roble-Rauli zukommen, der als mehr oder weniger unberührter Urwald flächenmäßig keine hervorragende Bedeutung mehr hat (91.650 ha), unter Hinzunahme der Sekundärwälder gleichen Typs jedoch mit rd. 242.000 ha einen bedeutenden Anteil an der gesamten Waldfläche aufweist (siehe Tab. 1).

Die Zusammenfassung der beiden Baumarten Roble (= Nothofagus obliqua) und Raulí (= N. alpina) in einem gemeinsamen Typ erscheint dabei zunächst widersprüchlich, da sie der angeführten Literatur zufolge kaum gemischt auftreten. Vielmehr wurde ja gerade der Roble-Wald als Formation der tieferen Lagen vom Rauli-Wald der höheren Lagen abgesetzt (SCHMITHÜSEN). So ist die Bezeichnung Roble/Rauli im Falle der Forsttypenklassifikation alternativ zu verstehen: Interpretationsschwierigkeiten der kleinmaßstäblichen Luftbildaufnahmen ließen eine klare Unterscheidung der physiognomisch ähnlichen Arten kaum zu, und auch vom Standpunkt der Verwendung und Wertschätzung auf dem Holzmarkt ergeben sich manche Parallelen.

Für Zwecke dieser Arbeit ist es jedoch wichtig, folgende Ergänzungen anzufügen:

1. Die angegebene Urwaldfläche des Forsttyps Roble-Rauli umfaßt die letzten, auf höher gelegene, schwerer zugängliche Gebiete zurückgezogenen Vorkommen, und enthält daher in überwiegender Mehrheit Rauli-Wälder.
2. In den Sekundärwäldern herrscht - umgekehrt - der Roble entsprechend seinem größeren Verbreitungsgebiet vor.

Abb. 4 veranschaulicht, in Anlehnung an die Forsttypenkarte des Instituto Forestal, die Verbreitung der Ur- und Sekundärwälder des Forsttyps Roble-Rauli, so wie sie zum Zeitpunkt dieser Großflächeninventur herrschte.

Dabei fällt auf, daß der größte Teil der noch vorhandenen Urwälder auf eine relativ begrenzte Fläche zwischen $39^{\circ} 30'$ und $40^{\circ} 30'$ innerhalb der Andenkordillere beschränkt ist. In der Tat beherbergt die Provinz Valdivia von der seinerzeit ermittelten Gesamtfläche des Roble-Rauli-Waldes (92 000 ha) mehr als 75 000 ha, das sind 83 %.

Die forstliche Vorrangstellung der Provinz Valdivia gilt im Übrigen nicht nur hinsichtlich des Forsttyps Roble/Rauli. Auch die Forsttypen "Coigüe" und "Valdiviano" gelangen hier mit großen zusammenhängenden Urwaldvorkommen zu einer beachtlichen Flächenausdehnung.

Diese Konzentration wirtschaftlich interessanter Urwälder im Bereich einer Provinz hatte schon im Jahre 1952 - 15 Jahre vor der "Vorläufigen Forsttypenausscheidung" des INSTITUTO FORESTAL - den Anstoß zu einer intensiveren Waldinventur gegeben, in der über Waldflächenermittlung hinaus auch Vorratserhebungen angestellt wurden (CORFO, 1952).

Zwar sind die damals erschienenen Zahlen über das Vorratsvolumen der einzelnen Holzarten heute veraltet, von Interesse jedoch ist der relative Anteil der Baumarten am gesamten stehenden Holzvorrat, so wie er sich seinerzeit darstellte, und auf der anderen Seite ihr Anteil an der Gesamtnutzung, der die wirtschaftliche Bedeutung widerspiegelt, die den einzelnen Naturwaldarten zukommt. Tabelle 2 gibt im Anhalt an VOLLMER, 1972, Aufschluß über die in Frage stehenden Relationen.

Die Zahlen lassen die hervorstechende Bedeutung der Baumart Rauli erkennen, die, obwohl sie mit einem Anteil von 6,2 % am Gesamtvorrat erst an 6. Stelle erscheint, in den folgenden Jahren mit Abstand am stärksten exploitiert worden ist (18 % der Gesamtnutzung). Die Erklärung dafür liegt in der Sonderstellung, die das Holz des Rauli auf dem Holzmarkt innehat, wo die "pulgada maderera"¹⁾ zum 2 bis 3fachen Preis der übrigen Holzarten gehandelt wird.

1) pulg.mad. = ein $2,54 \times 25,4 \times 365,76$ am dimensionierten Brett von $0,02359 \text{ m}^3$ Inhalt.

Holzart		Anteil an Holz- 1) Holz-2) vorrat nutzung		Wirtschaftl. Wert 3) E ⁰ (1968)/pulg. maderera
wiss. Bezeichnung	Name	%	%	
Nothofagus dombeyi	Coigüe	43,2	11,3	6,75 Kl.I/IV
Laurelia serrata	Tepa	12,4	13,3	3,50 "
Eucryphia cordifolia	Ulmo	8,8	14,1	4,50 "
Weinmannia trichosp.	Tineo	7,7	8,6	4,50 "
Podocarpus nubigenus	Manio	6,8	1,2	4,50 "
Nothofagus alpina	Rauli	6,2	18,0	15,00 I/III
Aextoxicon punctatum	Olivillo	3,9	7,7	2,50 I/IV
Nothofagus pumilio	Lenga	3,9	0,2	- "
Nothofagus obliqua	Roble	2,8	14,1	8,50 "
Flotowia diacanthoid	Trevo	2,1	-	- "
Drimys winteri	Canelo	0,5	0,2	3,50 "
Laurelia sempervirens	Laurel	0,4	4,2	4,00 "
Fitzroya patagonica	Alerce	0,3	2,9	- "
Araucaria araucana	Araucaria	0,3	-	- "
Persea lingue	Lingue	0,2	1,0	2,80 "
sonstige Holzarten		0,5	3,2	- "

Bemerkungen: 1) Quelle: CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION. Mensura Forestal de la Provincia del Valdivia. 1952

Anmerkung: Die Anteile der verschiedenen Holzarten am Holzvorrat dürften sich seit 1952 auf Grund der selektiven Nutzung verändert haben. Es liegen jedoch keine neueren Angaben vor.

2) Quelle: DIRECCION DE ESTADISTICA Y CENSOS: encuesta de Aserraderos 1965/66 - 1967/68.
Auswertung nach den Primärdaten (Erhebungsformulare).

3) Preis für unbearbeitetes Schnittholz ab Sägewerk in chil. Escudos je pulgada maderera. (1 pulg.mad. = Brett der Dimension 2,54 x 25,4 x 365,76 cm = 0,02359 cbm).

zitiert nach: SERENDERO, 1969

Tab. 2:

Die wichtigsten Holzarten des Naturwaldes im Untersuchungsgebiet, ihr Anteil am Holzvorrat (1952) und der Holznutzung (1965-67) sowie ihr wirtschaftlicher Wert (Schnittholzpreis). Aus VOLLMER, 1972.

Auch im Exportgeschäft spielt der Raulí eine hervorragende Rolle. So wurden im Forstwirtschaftsjahr 1968/69 $1/4$ der Schnittholzproduktion des Raulí ($15\ 000\ m^3$) ausgeführt, was massenmäßig 9 %, wertmäßig aber 16 % des gesamten Exportvolumens an Schnittholz ausmachte¹⁾; dem gegenüber hatten alle anderen Naturwaldarten zusammen nur ca. 10 % Anteil am Schnitthollexportgeschäft (INSTITUTO FORESTAL, 1971).

Die Nutzungs-, Preis- und Wertrelationen blieben auch für 1969/70 gültig (INSTITUTO FORESTAL, 1972), aus Gründen der politisch-ökonomischen Umstrukturierung in Chile erfuhren sie jedoch später einige Veränderungen.

Die geschilderte Wertschätzung des Raulí-Holzes hat die unkontrollierte Exploitationswirtschaft in den Beständen dieser Baumart stark beschleunigt. War ihr Vorkommen in unberührten Urwäldern schon 1952 auf ein begrenztes Gebiet entlegener Gebirgswälder reduziert, so ist dieses Areal seither immer weiter eingeengt worden.

Zurück blieben im günstigsten Fall die sogenannten Bosques descremados, "entrahmte" Wälder also, in denen die Rauli-Stämme selektiv herausgeschlagen worden sind, während die Begleitholzarten, insbesondere Coigüe, stehen blieben und heute den verlichteten Wäldern ihr Gepräge geben.

Diese Verlichtungshiebe, wie natürlich auch die Total-exploitationen, führten zu starker Ausbreitung einiger Bambusarten der Gattung Chusquea, die mit ihren undurchdringlichen Dickichten zu "Charakterarten" der Exploitationswirtschaft avancierten.

Die Rauli-Vorräte, die heute in Form von Primärwäldern noch vorhanden sind, lassen sich der Größenordnung nach abschätzen.

1) der m^3 Raulí-Schnittholz erzielte dabei einen Frei-Bord-Preis von 80 Dollar gegenüber 29 Dollar, die für Pinus radiata-Schnittholz erzielt wurden.

1971 wurde mit einer Inventur im Reliktgebiet der Raulí-Urwälder begonnen, das zuvor zu einem einzigen großen staatlichen Forstkombinat von 353 000 ha Größe zusammengelegt worden war, dem Complejo Forestal y Maderero Panguipulli LTDA. Zu diesem Kombinat gehören ca. 83 % der gesamten Roble-Raulí-Urwaldflächen Chiles. Aufgrund der vorläufigen Ergebnisse kann heute noch mit einem Gesamtvorrat zwischen 1,5 bis 2,0 Millionen Vfm gerechnet werden¹⁾, eine Masse, die ungefähr dem Gesamteinschlag eines Jahres im Bereich der Niedersächsischen Landesforstverwaltung entspricht. Unter Beibehaltung der Nutzungsquote so, wie sie sich in Chile in den Jahren 1968-70 eingependelt hatte, dürften somit die Raulí-Vorräte in 12 bis 15 Jahren total erschöpft sein.

1) Die Volumenschätzung erfolgte in Schnittholzmaßen = pulgadas madereras.
Einbezogen sind bisher die rauli-reichen Fundos Trafun, Enco, Neltume und Pilmaiquen, deren Vorrat mit 42.378.000 pul.mad. angegeben wird. Das sind ca. 1,1 Millionen Vfm. Wenn man von dieser Teilfläche auf die mutmaßliche Gesamt-Raulífläche des Kombinats schließt, kommt man zum angegebenen Schätzrahmen.

0.2 Problemstellung

Angesichts der extremen Bedrohung, der die letzten wertvollen Primärwälder von *Nothofagus alpina* ausgesetzt sind, wurde im Waldbauinstitut der Universidad Austral de Chile ein Forschungsprogramm eingeleitet, mit dem Ziel, Grundkenntnisse über das Verjüngungsverhalten dieser Baumart sowie ihrer wichtigsten Begleiter zu erarbeiten. Erster Schritt in diesem Zusammenhang war die Frage nach Periodizität, Menge und Qualität der Fruktifikation derjenigen Baumarten des Raulíwaldes, die sich dem Augenschein nach überwiegend oder ausschließlich generativ vermehren. Sodann interessierte das weitere Schicksal der Samen, ihr Abfallzeitpunkt und ihre Verteilung auf dem Waldboden, dessen Keimbetteigenschaften sowie Keim- und Überlebensprozente der verschiedenen Samen in Abhängigkeit von simulierten Bodenbearbeitungsverfahren.

Diesen Fragen gingen BURSHEL et al. (1970) in einer 0,4 ha großen Naturwaldparzelle über einen 4jährigen Beobachtungszeitraum hinweg nach, und kamen so zu ersten Kenntnissen über den Ablauf des Verjüngungsprozesses von der Fruktifikation der Mutterbäume bis hin zur Etablierung der Sämlinge im unberührten Raulí-Wald.

Dieser unberührte Raulí-Wald stellt mittlerweile aber schon die Ausnahme im Verbreitungsgebiet des Raulí dar. Es überwiegen total-exploitierte ehemalige Urwaldflächen sowie halbexploitierte Wälder, deren Zukunft nur dann richtig eingeschätzt und gesteuert werden kann, wenn man Menge, Qualität und Konkurrenzsituation der in ihnen vorhandenen Baumverjüngung kennt. Dabei ist das Hauptproblem die schlechte Zugänglichkeit der Flächen sowie ihre durch Bambusdickicht und verdämmende Strauchvegetation enorm behinderte Begehrbarkeit, Umstände, die dazu geführt haben, daß über den Verjüngungszustand der "Bosques explotados" und "Bosques

descremados" bisher nichts bekannt war.

Dem sollte das vorliegende Forschungsprojekt abhelfen, das sich in folgende drei Teilabschnitte untergliedern läßt:

1. In einem ersten Schritt galt es, Inventurverfahren zu entwickeln und zu erproben, mit Hilfe derer sich die speziellen Probleme des Untersuchungsobjekts, wie z.B. von der Normalität abweichende Verteilungsmuster der Verjüngungspflanzen und extrem schlechte Begehrbarkeit der Flächen, bewältigen ließen.

Dabei mußten neben den Verteilungsformen der verschiedenen in Verjüngung befindlichen Baumarten zusätzlich diejenigen der wichtigsten konkurrierenden Pflanzenarten studiert werden, um auch im Bereich der Konkurrenzvegetation zu Stichprobenverfahren zu gelangen, die eine Quantifizierung ermöglichen.

2. Nach der Erarbeitung der notwendigen methodischen Voraussetzungen sollte dann die Erforschung des Verjüngungszustands, insbesondere im alterierten Nothofagus-alpina-Wald, in Angriff genommen werden.

Gleichzeitig sollte versucht werden, zu Vorstellungen über die Entwicklung von Nothofagusverjüngungen zu kommen. Langjährige Beobachtungen schieden wegen der Kürze des zur Verfügung stehenden Zeitraumes aus. Es mußte daher versucht werden, durch möglichst viele Momentaufnahmen von Verjüngungen in verschiedenen Entwicklungsphasen zu Einblicken in die Dynamik des Reproduktionsprozesses zu gelangen. Das sollte durch Verjüngungsanalysen im unberührten, teilexploitierten und totalexplorierten Raulí-Wald erreicht werden.

Dabei sollte auch der Frage nachgegangen werden, inwieweit der Zustand des Altbestandes Einwirkungen auf die Wachstumsbeziehungen zwischen Baumverjüngung und Konkurrenzvegetation ausübt, und ob sich

andererseits der exploitationsbedingte Grad der Auflichtung auswirkt auf den Wettbewerbsverlauf der Baumarten untereinander in der Verjüngungsetage.

3. Im letzten Abschnitt sollte der Wettbewerbsfrage weiter nachgegangen werden, wobei der Lichtfaktor als einer der entscheidenden Konkurrenzparameter in den Blickpunkt des Interesses rückt.

Es wurde geplant, in vier Urwaldparzellen die herrschenden Lichtverhältnisse zu quantifizieren und in Beziehung zum jeweiligen Verjüngungszustand - getrennt nach Baumarten - zu setzen.

Für die Bearbeitung der geschilderten Problemstellung standen insgesamt nur drei Vegetationsperioden zur Verfügung, ein Umstand, der manche Unvollständigkeit sowohl in der Versuchsanlage als auch in den Ergebnissen erklärt. Hinzu kamen die mannigfaltigen Schwierigkeiten, die sich aus dem Untersuchungsobjekt selbst ergeben: Sind die Vorkommen mit N. alpina schon von Natur aus auf höhere Lagen der unwegsamen Küsten- bzw. Andenkordillere beschränkt, so hat sich diese Situation durch die Exploitationsgeschichte noch verschärft. Urwaldflächen sind praktisch nur noch nach langer beschwerlicher Anfahrt und anschließendem Marsch zu Fuß oder zu Pferde zu erreichen. Außenaufnahmen in solchen Flächen, weitab der Zivilisation, haben Expeditionscharakter, ein weiterer begrenzender Faktor sowohl in Bezug auf den Arbeitsfortschritt als auch auf die technischen und methodischen Untersuchungsmöglichkeiten überhaupt.

Mancherlei Schwierigkeiten ergaben sich auch aus der Situation des Landes, in dem jede Ergänzung oder Neubeschaffung technisch komplizierterer Ausrüstungsgegenstände zum Problem wird. Das galt besonders für die Einsatzbereitschaft geländetauglicher Fahrzeuge, aber auch für das Instrumentarium wie Thermometer, Lichtfilter etc.

So sind die gewonnenen Ergebnisse notgedrungen rudimentär, vieles bleibt ungeklärt, manches bedarf der weiteren Untermuerung und Vervollständigung.

1 Methoden der Verjüngungsinventur für waldbauliche Zwecke

Die Ermittlung der wichtigsten Bestandesparameter in Baumbeständen vom Durchforstungsalter ab kann unter mitteleuropäischen Bedingungen sowohl von der Meßtechnik als auch von der Stichprobentheorie her im großen und ganzen als gelöst bezeichnet werden. Gute Begehrbarkeit der Aufnahmeflächen und relative Artenarmut der Bestände bilden an sich schon günstige Voraussetzungen für dendrometrische Erhebungen. Hinzu kommt die räumliche Verteilung der Baumstämme über die Bestandsfläche hin, die allein schon altersphasenbedingt einen gewissen Grad an Homogenität erreicht hat, zusätzlich aber noch durch menschliche Einwirkungen auf die Bestandesbegründung sowie durch Pflegemaßnahmen stark in dieser Richtung beeinflußt wird. Das Ergebnis sind Verteilungsmuster der Gesamtheit aller Stämme zwischen Regelmäßigkeit und Normalität, CURTIS und McINTOSH, 1950; PERSSON 1964.

Dies gilt zumindest für den bei uns vorherrschenden Fall der einschichtigen Rein- bzw. Mischbestände.

Anders ist die Ausgangslage für Inventuren natürlicher Baumverjüngungen. Hier führen Faktoren wie die Verteilung der Samenbäume, unterschiedliche Flugfähigkeit der Samen, wechselnde Keimbettbedingungen von Ort zu Ort, das Beschattungsmosaik des aufgelichteten Altbestande etc. zu geklumpten Verteilungstypen, ein Umstand, der durch Auftreten von Konkurrenzvegetation im allgemeinen noch verstärkt wird. Diese Konkurrenzvegetation kann bei entsprechender Artenzusammensetzung, besonders in Zonen üppigen Wachstums, zusätzlich die Begehrbarkeit der Aufnahmeflächen extrem einschränken, ein weiteres Erschweris bei der Durchführung von Verjüngungsinventuren, das nicht ohne Einfluß auf die Aufnahmemethodik bleiben kann.

1.1 Verfahren zur Einschätzung von Dichte und Verteilung

Ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung von Naturverjüngungen ist deren Individuenzahl pro Flächeneinheit, die im folgenden, angelehnt an die internationale pflanzenökologische Literatur, "Besatzdichte" oder vereinfacht "Dichte" (density) genannt wird. Prinzipiell gleichen die Methoden der Dichteherleitung denjenigen der Stammzahlermittlung bei forstlichen Vorratsinventuren, mit dem Unterschied, daß diese den Einzelstamm in seiner Projektion als Kreis mit einer bestimmten Flächengröße anzusehen haben, während jene in praxi von Individuen ausgehen können, die sich in ihrer Projektion als dimensionslose Punkte über die jeweils gegebenen Flächen verteilen. Daher ist die Problematik der Dichteermittlung in Verjüngungen enger verwandt mit der entsprechenden Thematik in der allgemeinen quantitativen Pflanzenökologie, als mit dendrometrischen Fragestellungen.

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Wege zur Einschätzung der Dichte in Pflanzenpopulationen, die im folgenden diskutiert werden sollen.

1.11 Die Einschätzung der Dichte mit Hilfe von Probeflächen

Ist eine Anzahl von Individuen nach den Gesetzen des Zufalls über eine Fläche verteilt, so kann man durch Auszählung in ebenso zufällig verteilten Probeflächen zu einem repräsentativen Schätzwert der gesamten Populationsdichte gelangen, einschließlich der statistischen Parameter, die zur Beurteilung seiner Vertrauenswürdigkeit notwendig sind.

Form und Größe der Probeflächen richten sich dabei nach Gesichtspunkten der Zweckmäßigkeit, sie sind prinzipiell ohne Einfluß auf das Ergebnis, dessen Zuverlässigkeit, sorgfältige Zählung vorausgesetzt, allein von dem Stichprobenumfang abhängt.

Dieser Tatbestand ändert sich, wenn die Individuen statt in Zufallsverteilung in geklumpfter Verteilungsform vor-

liegen. Eine solche Verteilung zeigt Abb. 5 im Schema. Es leuchtet ein, daß z.B. bei Benutzung kleiner Probe-
flächen, wie der eingezeichneten, die Chance größer als "normal" ist, 0 Individuen einzufangen. Ebenso ist die
Wahrscheinlichkeit übergroß, mit einem eingefangenen Individuum zugleich noch mehrere andere in der Probe-
fläche vorzufinden, während die Aussicht, nur eine ein-
zige Pflanze zu erhalten, geringer als "normal" ist. Das Bild würde anders, wenn statt mit kleinen Probe-
flächen mit sehr großen Stichprobeneinheiten gearbeitet würde, die immer mehrere Individuenanhäufungen zugleich
einbegreifen könnten.

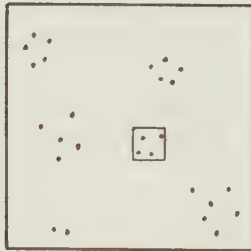


Abb. 5 Schema einer geklumpten Populationsstruktur
mit ausgelegter quadratischer Probe-
fläche (GREIG-SMITH, 1964)

GREIG-SMITH, 1964, weist auf die Bedeutung dieser Proble-
matik hin, die in der Mehrzahl aller natürlichen
Pflanzenpopulationen auftaucht, und demonstriert diese
Schwierigkeiten am Beispiel einer Population von *Mercurialis perennis* (siehe Tab. 3).

	Probeflächengröße	
	625 cm ²	2500 cm ²
Durchschnittszahl per Probefläche	0.13	0.35
Varianz	0.2343	1.1432
Varianz des Mittelwertes bei gleichem Aufnahme-%		
= 200 Probeflächen a 625 cm ²		
bzw. 50 " " a 2500 cm ²	0.00117	0.02286
Standardfehler des Mittelwertes	0.0342	0.1512
Standardfehler in % des Mittelwertes	26,3 %	43,2 %
Dichteschätzung pro m ²	2.08	1.40
Standardfehler der Dichteschätzung	0.547	0.605

Tab. 3 Dichteschätzung von *Mercurialis perennis*-Sprossen auf gleicher Fläche mit Hilfe zweier verschiedener quadratischer Probeflächengrößen (nach GREIG-SMITH, 1964)

Es zeigt sich, daß die Besatzdichte pro m² bei Verwendung großer Quadrate in diesem Fall um 33 % niedriger eingeschätzt wurde (1.40 Stck./m²) als bei Verwendung kleiner Quadrate (2.08 Stck./m²). Der Fehlerrahmen des Mittelwertes ist im übrigen bei Verwendung der größeren Probequadrate weiter.

Um die geschilderten Schwierigkeiten zu umgehen, muß entweder die räumliche Verteilung vor der Dichteermittlung genau studiert werden, um die Probeflächengröße jeweils individuell an das Fleckenraster anzupassen. Dazu müßte sowohl die durchschnittliche Fleckengröße als auch die Verteilung der Flecken über die Fläche hinweg ermittelt werden, ein Unterfangen, das sich in der Praxis entweder überhaupt nicht durchführen läßt oder aber unverhältnismäßig aufwendig ist. Die andere Möglichkeit ist die Verwendung kleinstmöglicher Probeflächen, die immer nur kleinste Bruchteile der Flecken einbegreifen. (GREIG-SMITH) Da sie nur jeweils minimale Teile der Gesamtfläche repräsentieren, muß ihre Anzahl entsprechend hoch sein, um ein bestimmtes Flächenaufnahmepercent zu erreichen.

Der einschlägigen Literatur zufolge ist die Anwendung von Probeflächenverfahren bei Verjüngungsinventuren mit praxisbezogener Fragestellung die vorherrschende Methode. Eine vereinfachte Variante hat im Nordwesten der Vereinigten Staaten und dem angrenzenden Britisch Kolumbien eine gewisse praktische Bedeutung erlangt. Hier wird die Frage nach der Individuenzahl per Probefläche reduziert auf die Alternative "bestockt" oder "nicht bestockt". Als bestockt wird diejenige Probefläche angesehen, in der sich mindestens eine g e s i c h e r t e Verjüngungspflanze befindet¹⁾. Das Vorhandensein weiterer Pflanzen wird als unerheblich erachtet, weil in Zukunft auf der durch den Plot begrenzten Fläche doch nicht mehr als höchstens ein Baumindividuum Platz haben würde. Dementsprechend wird empfohlen, die Probefläche so zu bemessen, daß sie eine Zwischenstellung zwischen dem in der Verjüngungsphase benötigten Lebensraum und dem Standort im Nutzungsalter einnimmt, eine Überlegung, die angesichts ihrer Unschärfe zu ganz unterschiedlichen Empfehlungen bezüglich der Probeflächengröße geführt hat. LOWDERMILK, 1921, (zitiert nach COX, 1971) propagierte Probequadratre von 1/1000 acre (= 4,05 m²) Flächengröße, ein Maß, das sich im englischsprachigen Bereich weitgehend durchgesetzt hat.

Andere Autoren schlagen zumindest wahlweise die Verwendung der 4fachen Probeflächengröße vor (= 4/1000 acre), ALLEN, GRIFFITH und KER, 1951; DEMBICKI, 1953, und geben entsprechende Grafika, um die Ergebnisse der 4-milacre-Methode in die der milacre-Methode umzuwandeln.

1) Es ist auch die Anforderung gestellt worden, daß mindestens 2 Pflanzen in der Probefläche vorhanden sein müssen, damit diese als "bestockt" bezeichnet werden kann. Die 2. Pflanze dient in diesem Fall als Ersatz bei etwaigem Ausfall der ersten, COX, 1971.

Je nach Probeflächengrößen werden bestimmte Prozentwerte von bestockten Probeflächen gefordert, die als Minimum erreicht werden müssen, um die Verjüngung als gesichert qualifizieren zu können. Abb. 6 gibt die Beziehung zwischen Bestockungsprozent und der "zukunfts-effektiven" Individuenzahl für beide Probeflächengrößen wieder.

Mit dieser Stammzahl ist allerdings noch nicht genug über ihre Verteilung auf der Gesamtfläche gesagt; so kann z.B. ein prozentualer Schwellenwert von 30 % (ca. 600 Pflanzen nach der mil-acre-Methode) durch einen sehr hohen Prozentsatz bestockter Probeflächen in einem Teilareal der Untersuchungsfläche zustandekommen, während andere Teile total unbestockt sind. Das macht eine zusätzliche Information über die Homogenität der Verteilung notwendig, die z.B. durch ein systematisches Probeflächen-netz mit durchnummerierten Probeflächen erhalten werden kann. Dadurch wird ermöglicht, die Verteilungsschwankungen nachträglich auf einem entsprechenden Plan zu rekonstruieren.

Die Methode der bestockten Quadrate hat sich unter bestimmten Bedingungen und für einfache Fragestellungen zweifellos bewährt.

Fehleinschätzungen müssen auftreten bei Baumverjüngungen, die über lange Zeit mit einer vitalen Konkurrenzvegetation zu kämpfen haben. Vor Abschluß einer solchen Wettbewerbsphase kann ohne zusätzliche qualitative Kriterien nichts über das zukünftige Schicksal einer zum Aufnahmezeitpunkt als "gesichert" qualifizierten Verjüngungspflanze ausgesagt werden.

Für differenzierte waldbauliche Fragestellungen kann die Gesamtzahl aller Individuen eine sehr wichtige Basisinformation sein, aus der in Verbindung mit qualitativen Kriterien Einblicke in das Durchsetzungsvermögen einer Baumart gewonnen werden können. Die mit der Methode der "bestockten Quadrate" ermittelte "zukunftseffektive" Anzahl bietet solche Interpretationsmöglichkeiten nicht.

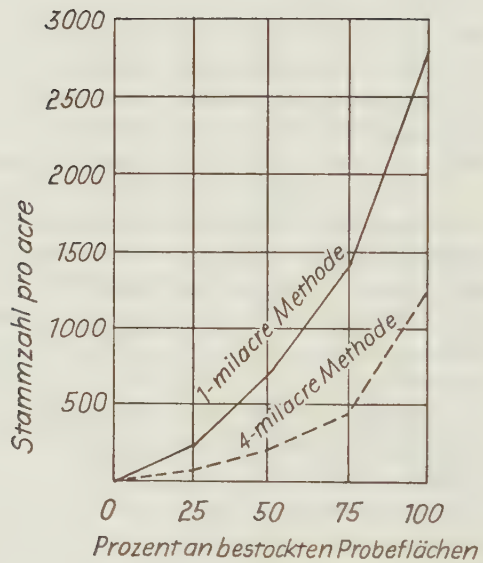


Abb. 6 Beziehung zwischen Bestockungs-% und "zukunfts-effektiver" Anzahl an Baumindividuen in 1-milacre und 4-milacre-Methode. (Aus DEMBICKI, 1953)

Hier wird den zukünftigen Selektionsprozessen innerhalb des Bestandes recht willkürlich vorgegriffen durch die mangelhaft fundierte Qualifikation einer Pflanze als "gesichert". Je nach verwendeter Probeflächengröße wird diese "gesicherte" Pflanze dann als einzig notwendig für einen Standraum von 4 m^2 (milacre-plot) oder 16 m^2 (milacre-plot) erachtet, eine Spanne, die zweifellos eher durch statistische als biologisch-ertragskundliche Überlegungen zustande gekommen ist.

Einen Übergang zwischen der Methode der bestockten Quadrate und dem im englischen Sprachgebrauch als "list-method" bezeichneten Inventurverfahren der kompletten Auszählung in Probeflächen stellt die sogenannte "3-Fuß-Regel" dar, die im British Columbia Forest Service in bestimmten Fällen angewandt wurde. Innerhalb eines (größeren) Probekreises werden - ausgehend von einer ersten Pflanze - nur diejenigen Folgepflanzen mit berücksichtigt, die weiter als 3 Fuß von der jeweils vorher registrierten entfernt sind. So wird zumindest ein Teil der "nutzlosen" Pflanzen unberücksichtigt gelassen, wodurch die Auszählung der verbleibenden leichter und fehlerfreier erfolgen kann. LOETSCH und HALLER (1965) verwendeten das gleiche Prinzip, wobei sie die Ausschlußabstände nach Pflanzenhöhe staffelten.

Dieses Verfahren sowie auch die Methode der "bestockten Quadrate" schien für die Dichteschätzungen im Rahmen dieser Arbeit weniger geeignet, einmal des schon erwähnten Informationsverlustes durch Vernachlässigung eines großen Teiles der Pflanzen wegen, andererseits aber auch wegen der schlechten Vergleichbarkeit solcherart gewonnener Dichteschätzungen mit anderen zu erprobenden Methoden.

Statt dessen wurde dem unmodifizierten Probeflächenverfahren (list-method) der Vorzug gegeben, in dem aus jeder Probenahme ein Maximum an Information gewonnen werden kann, wenn auch unter höherem Zeitaufwand.

Für die Festlegung der methodischen Details, wie Art der Verteilung der Probeflächen, ihre optimale Größe, Form und Anzahl, wurde eine Vorstudie im Untersuchungsgebiet angesetzt, auf deren Beschreibung und Ergebnisse weiter unten eingegangen wird.

1.12 Die Einschätzung der Dichte mit Hilfe von Abstandsverfahren

Ein grundsätzlich anderer Weg, zu Vorstellungen über die Dichte in Pflanzenpopulationen zu kommen, geht von den Abständen aus, die die Individuen einer Population untereinander haben (engl. plant-to-plant-distance) und aus denen sich der mittlere Standraum der Einzelpflanze sowie dessen reziproker Wert, die Dichte pro Flächeneinheit, rechnerisch herleiten lassen. Mathematisch konnte nachgewiesen werden, daß statt der Abstände zwischen Nachbarn ebenso Abstände von einem zufällig gewählten Punkt zum nächsten Individuum (engl. point-to-plant) verwendet werden können. Die Formel, mit Hilfe derer man vom Mittelwert der gemessenen Abstände ($\bar{r}$) zum mittleren Standraum (M) gelangt, ist für beide Fälle:

$$\bar{r} = \frac{1}{2} \sqrt{M},$$

wie MORISITA, 1954, für die point-to-plant-Methode und CLARK und EVANS, 1954 a, für die plant-to-plant-Methode nachgewiesen haben.

Allerdings taucht bei der Abstandsermittlung zwischen Nachbarpflanzen eine Schwierigkeit auf, die zu einseitigen Fehlern führen kann:

Auch in einer echten Zufallsverteilung tritt bei den plant-to-plant-Messungen der Fall der sogen. "isolierten Paare" auf, solcher Individuenkombinationen also, die gegenseitig nahe Nachbarn, aber von allen anderen Pflanzen relativ weit entfernt sind. Der prozentuale Anteil dieser isolierten Paare beträgt nach CLARK und EVANS, 1954 b, sowie nach HAMMING und GILBERT, 1954, rund 62 %

in einer Zufallsverteilung. Bei rein zufällig ausgewählten Initialpflanzen für die Messung der Abstände zur Nachbarpflanze wird der Anteil dieser isolierten Paare richtig repräsentiert (CLARK und EVANS). Diese streng zufällige Auswahl von Pflanzen in einer Population ist jedoch, zumindest in der forstlichen Praxis, undurchführbar. Sie ließe sich erreichen, indem jedes einzelne Individuum vorher aufgesucht und numeriert würde und anschließend aus den registrierten Pflanzen nach Zufalls-Gesichtspunkten die für die Stichprobe erforderlichen Initialpflanzen ausgelesen und zum Zwecke der Messung wieder aufgesucht würden.

Angesichts des unvermeidbar hohen Aufwands solcher Zufallsauswahl hat sich ein Hilfsverfahren eingebürgert, das im englischen Sprachgebrauch als "short cut" bezeichnet wird. Hier wird von zufällig ausgewählten Punkten im Bestand die jeweils nächste Pflanze als Initialpflanze betrachtet, von der aus dann der Abstand zu ihrem nächsten Nachbarn gemessen wird.

Dieses Hilfsverfahren führt nun im Zusammenhang mit dem Phänomen der "isolierten Paare" zu einseitigen Fehlern, indem es ihren Anteil an der Population falsch repräsentiert. COTTAM und CURTIS, 1956, kamen in einer künstlichen Zufallspopulation auf 50 % gegenüber den vorher zitierten 62 %. Sie schlagen vor, diesen systematischen Fehler durch einen Korrekturfaktor auszugleichen. Statt der Formel

$$\bar{r} = \frac{1}{2} \sqrt{M} \text{ soll bei Anwendung der "short-cut-Methode"}$$

$$\bar{r} = \frac{1}{1.67} \sqrt{M} \text{ benutzt werden.}$$

PIELOU (1959) bestätigt das Auftreten dieses Fehlers, der sich bei der short-cut-Methode ergibt, bezweifelt aber mit Recht die Allgemeingültigkeit des von COTTAM und CURTIS eingeführten Korrekturfaktors.

Was die Abstandsmessung generell betrifft, so hat sich in den letzten Jahrzehnten eine stürmische Fortentwicklung sowohl in der allgemeinen Pflanzenökologie als auch im forstlichen Bereich ergeben.

COX, 1971, schildert ausführlich den Werdegang dieser Verfahren sowie der ihnen zugrundeliegenden theoretischen Überlegungen im forstlichen Anwendungsbereich.

Schon sehr früh wurden die Nachteile der Abstandsmessung zur erstnächsten Pflanze erkannt, da die so erhaltene Abstandsvariable, besonders bei mäßiger Dichte, zu starker Streuung neigt und deshalb eine hohe Anzahl an Messungen erforderlich wird. Auch reagiert sie auf Abweichungen der Population von der Normalverteilung besonders empfindlich.

Diese Tendenz schwächt sich ab, je weiter entfernt der zu messende Baum steht, während der Zeitaufwand mit zunehmender Ordnungszahl des zu messenden Baumes größer wird.

1.121 Ordnungsmethoden

Die Methoden, die auf diesen Überlegungen aufbauen und einen möglichst guten Kompromiß zwischen Genauigkeit und zeitlicher Effizienz anstreben, lassen sich im Anhalt an die englische Literatur als Ordnungsmethoden (order-methods) zusammenfassen, wobei der Begriff "Ordnung" im Sinne von Ordnungszahl, zur Kennzeichnung einer Reihenfolge aufgefaßt werden muß. BAUERSACHS, 1942, empfiehlt als günstigsten Abstand den zum zweitnächsten Nachbarn. KÖHLER, 1952, arbeitete mit dem Mittel aus den Abständen zum zweitnächsten und dritt-nächsten Nachbarn; WECK, 1955, untersuchte die Beziehungen zwischen den Mittelwerten der Abstände zum 2.-, 3.- und 4.-nächsten Nachbarn einerseits und der Wurzel aus dem Standraum ($\sqrt{M}$) andererseits und konnte so die Praxistauglichkeit des Köhler'schen Verfahrens

untermauern. ESSED (1956) kam aufgrund eigener Studien ebenfalls zur Verwendung der Abstände zum 2. und 3. Nachbarn.

STOFFELS, 1955, bevorzugt die Verwendung von Punkt-zu-Baum- gegenüber Baum-zu-Baum-Abständen. Er weist nach, daß sich ein systematischer Fehler ergibt, wenn man sich - wie es die Befürworter der Baum-zu-Baum-Methode tun - so im Bestand aufstellt, daß der Abstand zum nächsten Baum = 0 wird. Der mittlere Abstand zum drittnächsten Baum vom Beobachter aus, der im Baum-zu-Baum-Verfahren als Abstand zweiter Ordnung Eingang findet, ist dann nämlich nach seinen Untersuchungen zu groß.

Allen bisher genannten Varianten der Ordnungsmethode haftet der Mangel an, daß sie nur für mehr oder weniger gleichmäßig verteilte Populationen brauchbare Schätzwerte geben. COX (1971) überprüfte ihre Anwendbarkeit in simulierten Populationsmodellen, die bei gleicher Individuendichte Verteilungsmuster vom Dreiecksverband (Modell 1) über verschiedene Zufallsverteilungen (Modelle 3 - 5) bis hin zu zunehmend geklumpten Verteilungen (Modell 6, 7 und 11) aufweisen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefaßt.

Modell	Stammzahl / ha						
	BAUERSACHS	KÖHLER	ESSED		STOFFELS	STOFFELS modif. $1/r_3^2$	Erwartungs- wert
			a_2	a_3			
1	73,85	86,52	71,25	96,20	108,44	113,45	100,00
3	110,62	109,19	106,71	103,14	98,13	113,97	100,00
4	139,99	134,88	135,05	124,87	83,78	120,64	100,00
5	152,14	141,53	146,77	127,32	83,88	126,10	100,00
6	185,09	173,61	178,56	157,23	72,70	129,47	100,00
7	224,87	204,99	216,93	181,48	67,14	141,06	100,00
11	341,89	308,98	329,82	217,69	42,70	148,18	100,00

Tabelle 4 Ermittlung der Stammzahl pro ha in simulierten Populationen unter Anwendung verschiedener Varianten von Abstandsmethoden (aus COX, 1971).

Gemessen an dem Erwartungswert von 100 zeigen sich enorme Abweichungen insbesondere bei zunehmendem Klumpungsgrad. Das Verfahren von STOFFELS erweist sich dabei heterogenen Verteilungsmustern gegenüber als das unempfindlichste. Dafür ist neben der eigentlichen Aufnahmemethode auch die benutzte Formel zur Dichteermittlung verantwortlich.

Auf die Verwendung geeigneter Maßzahlen in den Formeln zur Dichteschätzung wird an anderer Stelle noch ausführlich eingegangen.

Die mangelnde Tauglichkeit der genannten Verfahren im Bereich geklumpfter Verteilungen hat in letzter Zeit zu einer Ausdehnung der Ordnungszahl zum 4., 5. bzw. 6. Baumabstand von einem Stichprobenpunkt aus geführt. PRODAN, 1968, hält die Verwendung des 6. Baumabstandes für einen guten Kompromiß. SCHÖPFER, 1969, kam über ein vergleichendes Studium der Beziehungen zwischen Variationskoeffizient und Ordnungszahl des Abstandes zum gleichen Ergebnis.

COX testete diesen 6. Abstand in einigen seiner Modelle und fand, daß er von Verteilungen absoluter Gleichmäßigkeit bis hin zu relativ starkem Klumpungsgrad zuverlässige Schätzungen der Dichte ermöglicht.

1.122

Winkelmethoden

Während im forstlichen Bereich die Anpassung der Abstandungsverfahren an schwierige Verteilungstypen vorwiegend auf dem Wege über die Ordnungszahl des zu berücksichtigenden Baumindividuums vorgenommen wurde, ging man in der Pflanzenökologie schon frühzeitig andere Wege.

Hier wurde zunächst versucht, die starken Streuungen der Abstände zur erstnächsten Pflanze auszugleichen durch sogen. Ausschlußwinkel.

COTTAM und CURTIS (1949, 1955) entwickelten beispielsweise eine Methode, in der von einem beliebigen Punkt innerhalb der Population die nächstgelegene Pflanze

bestimmt wurde. Senkrecht zur Verbindungslinie zwischen Punkt und Pflanze wird eine Gerade durch den Punkt gezogen, und der nächste Nachbar zur Pflanze darf dann nur jenseits dieser Geraden gesucht werden.

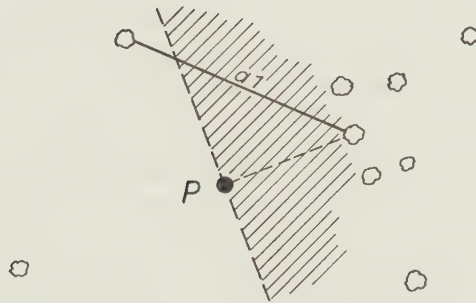


Abb. 7 Random-pairs-Methode nach COTTAM und CURTIS

Es ergibt sich somit ein Ausschlußwinkel von 180° , der verhindern soll, daß sich die Messungen immer im Bereich der nächsten Nachbarn innerhalb vom Flecken höherer Individuendichte vollziehen. Ein solches Verfahren macht natürlich die Einführung eines Korrekturfaktors notwendig, denn die gemessenen Entfernungen entsprechen ja nun nicht mehr den wirklichen Entfernungen zum nächsten Nachbarn. Dieser wurde im angeführten Fall empirisch mit 0.8 festgesetzt. Mathematisch ist die Methode bisher nicht untermauert.

Ähnliche Überlegungen liegen der Quadrantenmethode zugrunde, die nach CURTIS, 1950, schon sehr lange in Gebrauch ist. Hier wird auf dem Stichprobenpunkt ein Koordinatenkreuz gelegt, das beispielsweise nach den Hauptrichtungen der Kompaßwindrose orientiert werden kann.

Anschließend werden dann die Abstände zur nächsten Pflanze in jedem der 4 Quadranten gemessen. (s. Abb. 8)

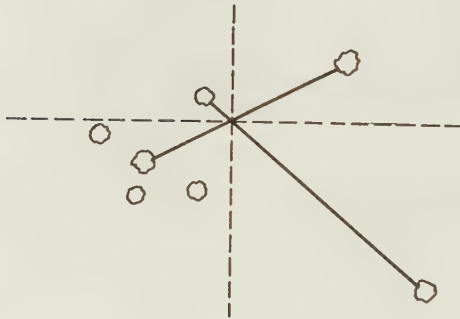


Abb. 8 Quadranten- oder point-centered-quarter-Methode

Dadurch wird ebenfalls in gewissen Grenzen vermieden, daß sich alle Messungen innerhalb eines Fleckens höherer Individuendichte vollziehen.

Diese Quadrantenmethode wurde von MORISITA (1954) theoretisch untermauert. Danach drückt sich die Beziehung zwischen dem Mittelwert der Abstände ($\bar{r}$) und dem Standardraum (M) aus in der Formel

$$\bar{r} = \sqrt{M}$$

DICE, 1952, benutzte ein ähnliches Verfahren, in dem der imaginäre Kreis um den Stichprobenpunkt in Sextanten statt in Quadranten eingeteilt wurde.

Die bis hierher betrachteten Winkelmethoden wurden mit Erfolg nur in Populationen ausprobiert, deren Verteilung nicht weit vom Typ der Zufallsverteilung abweichen. Bei solchen Verteilungsmustern stellte sich ihre Überlegenheit den einfachen Abstandsmessungen zum nächsten Individuum oder nächsten Nachbarn gegenüber heraus. Für Populationen mit markanter Klumpungstendenz sind sie jedoch ebenso ungeeignet wie die Ordnungsmethoden, von der Verwendung von Abständen höherer Ordnung (z.B. des 6.) einmal abgesehen.

COTTAM und CURTIS mutmaßen, daß bei geklumpten Verteilungen sowohl die Quadrantenmethode als auch die Punkstichprobe zum erstnächsten Baum zu Überschätzungen der wirklichen Abstände führen, während das Verfahren mit dem Ausschlußwinkel von 180° zu Unterschätzungen führe.

1.123 Kombinierte Verfahren

Es lag nahe, durch Kombination der Ordnungsmethoden mit den Winkelmethoden eine noch bessere Anpassungsfähigkeit der Abstandsverfahren an problematische Verteilungstypen zu erreichen.

MORISITA, 1957, gelang es, ein solches kombiniertes Verfahren nicht nur zu entwickeln, sondern auch in allgemeingültiger Form mathematisch zu untermauern und an Modellen zu erproben.

Danach soll in 2 oder mehr Sektoren jeweils die 3.- nächste Pflanze (oder eine noch entferntere) gemessen werden. Eine weitere Anpassung an den Verteilungstyp wird durch zwei verschiedene Formeln angestrebt, mit Hilfe derer die Umrechnung von Abstandsmessungen in Dichtewerte vorgenommen werden kann:

$$d_1 = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{n-1}{N} \cdot \sum \left(\frac{1}{r^2} \right)$$

$$d_2 = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{n \cdot K - 1}{N} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K r_{ij}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K 1}$$

wobei d_1 = Dichte nach Formel 1

d_2 = Dichte nach Formel 2

n = Ordnungszahl des verwandten Abstandes

K = Zahl der benutzten Sektoren

r = gemessene Abstände

N = Zahl der ausgelegten Stichprobenpunkte

MORISITA hat die Methode an verschiedenen Modellpopulationen erprobt, wobei er mit 4 Sektoren arbeitete, in denen jeweils die Entfernung zum drittnächsten Individuum von Zentralpunkt aus gemessen wurde. Das Auslegen der Stichprobenpunkte erfolgte systematisch. Es ergaben sich sehr genaue Schätzungen sowohl im Bereich regelmäßiger Verteilungen als auch in einermäßig geklumpten Verteilung der dargestellten Struktur (s. Abb. 9).

Bezüglich der Verwendung der beiden Formeln schlägt er für den Fall regelmäßiger Verteilungen vor, das Mittel aus d_1 und d_2 als Dichteschätzung zu benutzen, wenn $d_1 < d_2$. Ist dagegen $d_1 > d_2$ so sei d_1 der bessere Schätzwert.

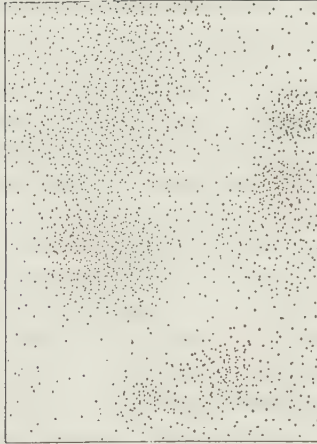


Abb. 9 Künstliche Population mit Klumpungstendenz zur
zur Überprüfung eines kombinierten Abstands-
verfahrens (aus MORISITA, 1957)

Für den Fall geklumpfter Verteilungen werden keine Empfehlungen gegeben, wie verfahren werden soll. Das entsprechende Populationsmodell gab, wie alle anderen, kleinere d_1 - als d_2 -Werte, und der gebildete Mittelwert entsprach auch hier am besten dem wirklichen Dichtewert.

Für die Problemstellung dieser Arbeit erschien die Methode nach MORISITA von besonderem Interesse, weil sie innerhalb der Abstandsverfahren das einzige theoretisch untermauerte Verfahren zu sein schien, das nachweislich auch in einer geklumpten Verteilung gute Ergebnisse geliefert hatte.

Darüberhinaus bot es, seines generellen Charakters wegen, die Möglichkeit, je nach den speziellen Aufnahmebedingungen, Sektorenzahl und Ordnungsnummer der zu messenden Pflanze zu variieren. Schließlich ist es auf einer vorher genau begrenzbaren Fläche anzuwenden und daher besonders geeignet zu Vergleichen mit Probeflächenverfahren.

Diese mannigfaltigen Vorteile entbehrt ein anderes Verfahren, das ebenfalls speziell für geklumpfte Verteilungen entwickelt wurde (CATANA, 1955; COTTAM, CURTIS und CATANA, 1957, CATANA, 1960). Es wurde unter dem Namen "Methode der wandernden Quadrate" bekannt und gilt primär der Erfassung von Verteilungsmustern, wobei jedoch auch Dichteinformationen anfallen. Hier werden nach mehr oder weniger gutachtlicher Einschätzung die Abstände innerhalb der Klumpungen getrennt von denjenigen, die die Klumpungen überbrücken. So erhält man aus dem Datenmaterial Hinweise auf die Zahl der Klumpungen, ihre Fläche und innere Dichte, wodurch nicht nur die Schätzung der Gesamtdichte, sondern auch eine gute Beschreibung des Verteilungstyps möglich wird. Die Methode ist allerdings schlecht in genau umrissene Aufnahmeflächen zu zwingen, weil sich der Verlauf der Stichprobenlinie wegen Verwendung eines Ausschlusswinkels erst während der Aufnahmearbeiten ergibt und stark gezackt sein kann. Der Erfolg dieses interessanten Verfahrens, das von COX, 1971, eingehender diskutiert wird, soll im übrigen sehr unterschiedlich sein, je nachdem, ob die Klumpungstendenz durch klar umrissene, mehr oder weniger kreisförmige Individuenkonzentrationen ohne dazwischengestreute Einzelindividuen zustande kommt (s.z.B. Abb. 10) oder aber durch Strukturen, wie sie sich etwa in Abb. 9 widerspiegeln.

Aus diesen Überlegungen heraus wurde der Methode von MORISITA der Vorzug vor allen anderen gegeben. Unklar blieb hier lediglich das Problem, welche der beiden Schätzzahlen bei den in den Aufnahmeflächen herrschenden Klumpungstendenzen jeweils die wirklichen Dichteverhältnisse besser repräsentieren würde.

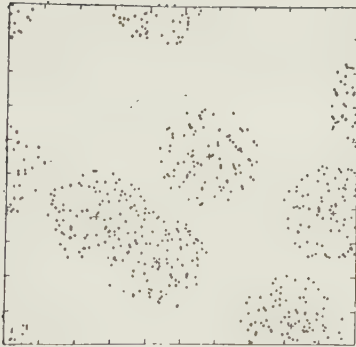


Abb. 10 Modellpopulation mit klar abgegrenzten kreisförmigen Individuenanhäufungen (aus COTTAM, CURTIS und CATANA, 1957)

1.124 Erfahrungen mit Dichte-Schätzzahlen bei Abstandsverfahren

Schon bei STOFFELS, 1955, findet sich ein Hinweis auf die Bedeutung der richtigen Wahl der Dichte-Schätzzahl. Er wies nach, daß die Verwendung des Quadrates des mittleren Abstandes zur Dichteschätzung einen einseitigen Fehler nach sich zieht, während der Mittelwert der Quadrate aller gemessenen Abstände zu fehlerfreien Schätzungen führte.

EEBERHARDT, 1967, konnte zeigen, daß der reziproke Wert der Abstandquadrate einen noch weiteren Anwendungsbereich von regelmäßigen über zufällige bis hin zu bestimmten geklumpten Verteilungstypen hat. Im Abschnitt 1.121, Tabelle 4 wird demonstriert, wie die an sich schon guten Ergebnisse des STOFFEL'schen Verfahrens, modifiziert durch Verwendung des reziproken Wertes der Abstandsquadrate, noch erheblich verbessert werden können. Auch das beschriebene Verfahren von MORISITA benutzt zur Herleitung der Dichteschätzung die reziproken Abstandsquadrate.

Nach Abschluß des methodischen Teils dieser Arbeit, einschließlich der damit verbundenen Außenaufnahmen, erschienen zwei ausführliche Studien über die Anwendungsbreite (engl. robustness) verschiedenster Dichteschätzzahlen. PERSSON, 1969, untersuchte unter anderen die beiden von MORISITA verwendeten Schätzzahlen. Er bestätigte durch Modellversuch, daß in regelmäßigen Verteilungen das Mittel aus beiden Maßzahlen den wirklichen Dichtewert gut trifft, vorausgesetzt $d_1 < d_2$. Für geklumpfte Verteilungen, deren Individuenkonzentrationen sich nicht kompakt gegen benachbarte Leerflächen abgrenzen, hält PERSSON die Schätzzahl d_2 für die vermutlich geeignetere. Kompakt geklumpfte Verteilungsmodelle wurden nicht erstellt.

COX, 1971, testete ebenfalls verschiedene Maßzahlen in Abhängigkeit vom Klumpungsgrad simulierter Populationsmodelle. Unter den Maßzahlen, die im Zusammenhang mit der Quadrantenmethode (3-nächster Baum in 4 Sektoren) überprüft wurden, befinden sich auch die von MORISITA vorgeschlagenen, eine davon in leichter Abwandlung.

Nach ihrer verschiedenen Mittelwertherleitung werden sie bezeichnet mit den Symbolen HQ (HQ) = Quadratisch-harmonisches Mittel aus quadratisch-harmonischen Mittelwerten

und

HQ (A) = Quadratisch-harmonisches
Mittel aus arithmetischen
Mittelwerten der Abstände
in Quadranten.

COX schlägt seinerseits eine weitere Maßzahl vor, die be-
zeichnet wird mit HQ (H) = Quadratisch-harmonisches
Mittel aus harmonischen
Mittelwerten der Abstände
in Quadranten.

Abb. 11 ist der COX'schen Studie entnommen und zeigt, wie
sich die Maßzahlen in seinen Modellen mit zunehmender
Klumpungstendenz verhalten.

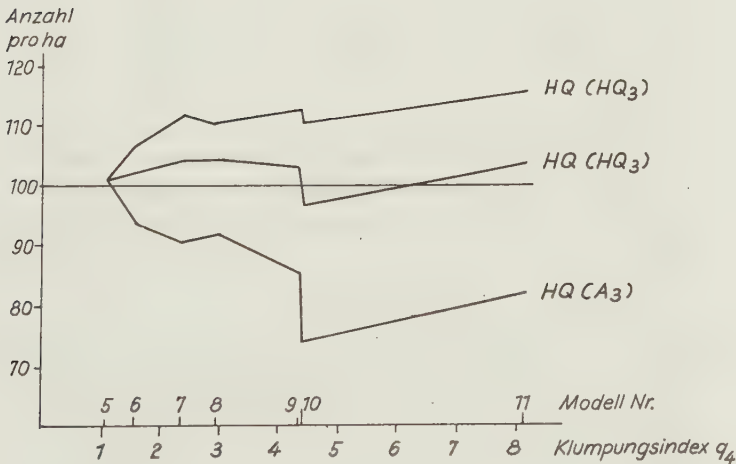


Abb. 11 Schätzung der Dichte (N/ha) mit Hilfe der Ab-
stände zum 3. Individuum innerhalb der Quadranten
unter Verwendung der Mittelabstände HQ (A), HQ
(H) und HQ (HQ) in Abhängigkeit von Klumpungs-
index q_4 (aus COX, 1971)

Es ergibt sich, daß das Mittel aus den Maßzahlen HQ (HQ) und HQ (A) zufriedenstellend Dichteschätzungen bis in hohe Klumpungsgrade gewährleistet, und etwa der von COX gewählten, sehr robusten Maßzahl HQ (H) entspricht. Bei weiterer Verstärkung der Klumpungstendenz über den Rahmen der Grafik hinaus gibt vermutlich die Maßzahl HQ (A), die prinzipiell der MORISITA'schen Formel für d_2 ähnelt, die besten Schätzungen.

Die optimale Wahl der Maßzahl - so muß gefolgert werden - setzt Kenntnisse über den Grad der Abweichung von der Normalverteilung voraus. Das kann als zwingende Bedingung für die Anwendung von Abstandsverfahren in Verjüngungsinventuren angesehen werden, da hier die verschiedensten geklumpten Verteilungstypen zu erwarten sind.

1.13 Kennzeichnung des Verteilungstyps durch Analyse von Probeflächendaten

Wird in einer nach Zufallsgesichtspunkten verteilten Population mäßiger Individuendichte eine Anzahl nicht zu großer Probeflächen ausgelegt, so folgen die hierin eingefangenen Pflanzenzahlen (Frequenzen) nicht der bekannten GAUß'schen Glockenkurve, sondern einer Poisson-Verteilung, die als Sonderfall einer Normalverteilung angesehen werden kann. BLACKMAN, 1935, gelang es als erstem, den Verteilungstyp bestimmter Wiesenpopulationen zutreffend mit der mathematisch klar definierten Poissonserie zu charakterisieren. Abb. 12 zeigt die Kurve der Pflanzenfrequenzen pro Plot im Falle einer Population von *Arnica montana*. Vergleicht man die erhaltenen Frequenzen mit den erwarteten Frequenzen für den Fall einer Poisson-Verteilung, so kann man über den χ^2 -Test die Signifikanz der Abweichung der beobachteten Serie von der Serie der Erwartungswerte feststellen.

Der P-Wert von 0.6 in der Abbildung gibt an, daß die Abweichung zwischen beiden Serien mit einer Wahrscheinlichkeit von 60 % auf Zufälligkeiten zurückzuführen ist und

damit weit davon entfernt ist, im statistischen Sinne signifikant zu sein:

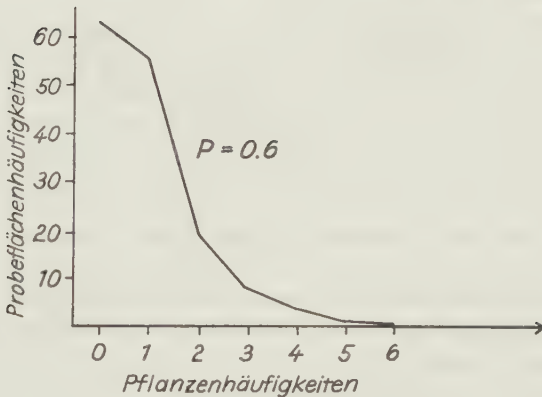


Abb. 12 Frequenzdiagramm aus einer Probeflächenstichprobe zur Dichteermittlung von *Arnica-montana* in einer Wiesenpopulation (aus BLACKMAN, 1935)

Eine ausführliche Darstellung des Rechenganges für den Vergleich von Feldaufnahmen mit der Poissonverteilung gibt GREIG-SMITH, 1964.

Hier wird auch auf ein schon lange geübtes Testverfahren zum Vergleich von beobachteten Frequenzserien gegen die Poissonserie hingewiesen. Dabei macht man sich die Tatsache zunutze, daß in Poissonverteilungen Mittelwert und Varianz stets gleich groß sind. Der Quotient aus Varianz

(s^2) und Mittelwert (m) hat also bei Zufallsverteilungen, die durch die Poissonserie gekennzeichnet sind, den Wert 1. Unterscheidet sich der entsprechende Quotient aus einer beobachteten Frequenzserie nicht signifikant von 1, so herrscht Normalverteilung in der Aufnahmefläche.

Ist hingegen der gefundene Wert signifikant größer als 1, so kann auf eine geklumpfte Verteilung geschlossen werden, während bei $\frac{s^2}{m} < 1$ ein regelmäßiges Verteilungsmuster vorliegt.

Schon zu Eingang dieses Abschnittes wurde darauf hingewiesen, daß sich Poissonserien nur aus normal verteilten Populationen bei entsprechendem Zusammenspiel von Dichte und Probeflächengröße erhalten lassen. In verstärktem Maße beeinflußt die Probeflächengröße solche Frequenzserien, die aus geklumpten Verteilungen gewonnen werden.

So wird der Klumpungsgrad bei Verwendung extrem kleiner Probeflächen, in denen nur wenige Individuen gleichzeitig eingefangen werden können, grundsätzlich unterschätzt. Das gleiche gilt für sehr große Probeflächen, die jeweils viele Klumpungen gleichzeitig einzufangen in der Lage sind. Auch bei regelmäßigen Verteilungen unterschätzen allzu kleine Probeflächen den Grad der Abweichung von einer Zufallsverteilung, während der Unterschied zu dieser mit zunehmender Probeflächengröße immer deutlicher wird (GREIG-SMITH, 1964).

Diese Problematik betrifft nicht nur den $\frac{s^2}{m}$ -Test, sondern alle Test-Indizes, die auf der Basis von Probeflächendaten entwickelt wurden (GREIG-SMITH, 1964, COX, 1971 und andere). Dennoch wird beispielsweise auf den Quotienten aus Varianz und Mittelwert zur Charakterisierung des Verteilungstyps immer wieder zurückgegriffen, einmal, weil er ohne größeren Arbeitsaufwand gleichsam als Abfallprodukt bei Dichtestudien anfällt, zum anderen, weil es zumindest im Bereich der Probeflächenmethoden keinen anderen Index gibt, der generell als besser bezeichnet werden könnte. Auch die Tatsache, daß dieser Quotient in den meisten Verteilungsstudien Anwendung gefunden hat und damit in der Literatur

als etabliert gelten kann, spricht für seine weitere Verwendung. COX benutzt ihn trotz aller Kritik als Klumpungsmaß zur Charakterisierung seiner künstlichen Populationsmodelle, weist jedoch die Tendenz zur Unterschätzung nach, die sich bei Verwendung von kleinen Probeflächen ergibt.

Im Abschnitt 1.11 wurde darauf hingewiesen, daß für die Dichteschätzung kleinstmögliche Probeflächen in hoher Anzahl die besten Resultate versprechen. Für die Analyse des Verteilungsmusters gilt indessen, daß die optimale Probeflächengröße nicht wesentlich kleiner als die durchschnittliche Klumpenfläche sein soll. Will man beide Informationen, Dichte und Klumpungsgrad, aus ein und derselben Stichprobe ableiten, so muß ein Kompromiß in der Probeflächengröße geschlossen werden, der umso leichter fällt, je kleiner die Klumpungen in einer gegebenen Population sind. Dieser Kompromiß richtet sich auch danach, welcher der beiden Informationen man den größeren Wert beimißt. Ist das, wie im Falle dieser Arbeit, die Dichte, dann wird die zu wählende Probeflächengröße zwangsläufig aus dem Optimalbereich für Verteilungsanalysen herauswandern und damit eine gewisse Unterschätzung der Klumpungstendenz nach sich ziehen.

Die Festlegung zweier verschiedener Probeflächengrößen mit dem Ziel, den unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden, führt vor allem bei schwierigen Außenaufnahmen zu neuen Problemen wie Zählfehlern und starker Beeinträchtigung des Arbeitsfortschrittes.

Bei Verwendung des beschriebenen Klumpungsindex aus Varianz und Mittelwert einer Serie von Frequenzen wird in natürlichen Pflanzenpopulationen meist eine mehr oder weniger starke Abweichung von der Zufallsverteilung offenbar, ohne daß damit Hinweise gegeben werden, ob die vorgefundene Verteilung anderen mathematischen Verteilungstypen ähnelt und damit einer Formulierung zugänglich wird. Für biologische Populationen, seien es Insekteneier bzw. -imagines oder Pflanzenindividuen, die sich über eine bestimmte

Fläche verteilen, ist verschiedentlich ein Verteilungstyp nachgewiesen worden, der durch die negative Binomialverteilung repräsentiert werden kann. (ANSCOMBE, 1949; BLISS, 1953; KER, 1954)

Die negative Binomialverteilung läßt sich durch zwei Konstanten beschreiben, ihren Mittelwert m und den Exponenten k . Nach ANSCOMBE ist die Varianz der Population

$$\sigma^2 = m + \frac{m^2}{k} \quad (1)$$

Der Erwartungswert für die Häufigkeit von Nullresultaten einer Stichprobe mit N Probeflächen ist

$$\phi_0 = N \left(1 + \frac{m}{k} \right) - k \quad (2)$$

und die Erwartungswerte für Häufigkeiten von positiven Zählergebnissen (r) allgemein ist

$$\phi_r = \phi_0 \left(\frac{k + r - 1}{r} \right) \left(\frac{m}{m + k} \right)^r \quad (3)$$

Will man - ausgehend von einer gegebenen Probeflächenauszählung - die theoretische Frequenzserie nach der negativen Binomialverteilung herleiten, so müssen m und k möglichst zuverlässig geschätzt werden.

Für m läßt sich als Annäherung der Mittelwert der Probeflächenauszählung $\bar{y}$ einsetzen. Schwieriger ist die Schätzung des Exponenten k , für die ANSCOMBE mehrere Verfahren vorschlägt.

1. Aus (2) folgt, wenn man ϕ_0 (= erwartete Frequenzen an Nullflächen) gleich f_0 (beobachtete Frequenzen an Nullflächen setzt):

$$\frac{N}{f_0} = \left(1 + \frac{\bar{y}}{k} \right)^k \quad \text{oder}$$

$$\log N - \log f_0 = k \cdot \log \left(1 + \frac{\bar{y}}{k} \right)$$

Die linke Seite der Gleichung hat in diesem Fall einen konstanten Wert. Es wird nun durch probeweises Einsetzen von verschiedenen Werten für k iterativ derjenige Wert gefunden, der das Gleichgewicht zwischen linker und rechter Seite herstellt.

Diese Schätzmethode für k ist nach BLISS dann besonders effizient, wenn $m < 1$.

2. Ein anderer Weg wird von FISHER (1941) und später von ANSCOMBE benutzt.

Hier wird k im Anhalt an (1) geschätzt. Für s^2 wird S^2 (die Varianz der Stichprobe) eingesetzt und für m der Wert $\bar{y}$ (Mittelwert der in der Stichprobe erhaltenen Frequenzen).

Es folgt

$$k = \frac{\bar{y}}{s^2 - \bar{y}}$$

Die Effizienz dieser Schätzmethode wie auch der vorhergehenden ist abhängig vom Verhältnis zwischen k und m , wie aus der von ANSCOMBE, 1950, entwickelten Grafik hervorgeht (Abb. 13)

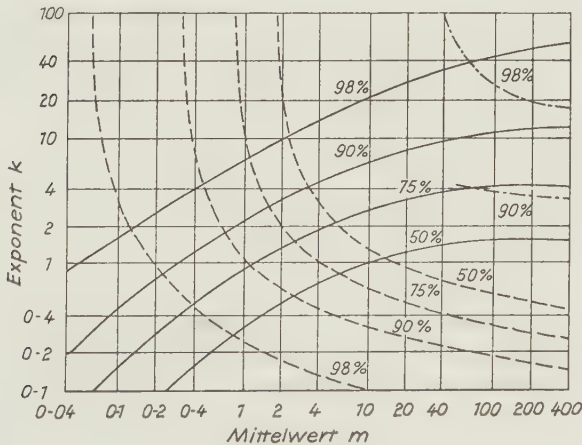


Abb. 13 Grafischer Test zur Überprüfung der k -Schätzung (aus ANSCOMBE, 1950)

Ist der Wert für k auf einem der beiden Wege gefunden und die Effizienz dieser Schätzung überprüft, können mit Hilfe von (3) die gewünschten Erwartungswerte für $\varnothing_1, \varnothing_2, \varnothing_3, \dots, \varnothing_n$ errechnet werden.

KER hat das Verfahren erstmals auf den forstlichen Bereich angewandt und befriedigende Übereinstimmung zwischen den Probeflächendaten eines Pinus-taeda-Bestandes und den entsprechenden Erwartungswerten nach der negativen Binomialverteilung gefunden. Die Abweichung von der Serie der Erwartungswerte wurde dabei, genau wie im Falle des Vergleiches mit der Poissonserie, an Hand des χ^2 -Tests auf ihre Signifikanz geprüft.

Angesichts des anscheinend recht weiten Gültigkeitsbereiches der negativen Binomialverteilung innerhalb von Pflanzenpopulationen wurde das dargestellte Ausgleichsverfahren mit in das Untersuchungsprogramm dieser Arbeit aufgenommen, zumal die Außenaufnahmen dadurch nicht abgeändert zu werden brauchten. Andere mathematisch definierte Verteilungstypen wie etwa die NEYMAN-Typ-A-Verteilung oder die THOMAS-Verteilung, die bisweilen für ökologische Studien herangezogen werden, wurden für die Verteilungsanalyse im Rahmen dieser Arbeit nicht benutzt.

1.14 Kennzeichnung des Verteilungstyps durch Verwendung von Abstandsdaten

Für den Fall, daß die Besatzdichte einer Pflanzenpopulation mit Hilfe eines Abstandsverfahrens bestimmt wird, ist es natürlich wünschenswert, Abstandsdaten aus dem gleichen Aufnahme-prozess auch für die Verteilungsanalyse ausnutzen zu können. Gerade die Verwendung von Abstandsverfahren für die Dichteschätzung macht ja im Falle stark von der Normalität abweichender Verteilungsmuster Einblicke in den Verteilungstyp zwingend erforderlich, weil ohne solche Kenntnisse die richtige Wahl der Formel für die Dichteherleitung kaum möglich ist.

Unter den zahlreichen Indizes, die allein aus Abstandsdaten hergeleitet und als Maß der Abweichung einer Verteilung vom Zufallstyp vorgeschlagen worden sind, seien hier die wichtigsten kurz erwähnt.

DICE, 1952, benutzt Abstände einer Zentralpflanze zu ihrem jeweils nächsten Nachbarn in jedem einzelnen der umliegenden Sextanten. Die Wurzeln dieser Messungen, gruppiert und in eine Häufigkeitskurve gebracht, sollen nach DICE im Falle von Zufallsverteilungen die Form der Glockenkurve annehmen; nach rechts sind sie geneigt, wenn sie regelmäßigen Verteilungen entstammen, und Linksschiefe zeigen sie bei geklumpten Verteilungen. Die praktischen Nachteile des Verfahrens liegen auf der Hand: Es geht von plant-to-plant-Abständen aus, was das in Verjüngungsinventuren praktisch unlösbare Problem der Auswahl der Initialpflanzen aufwirft. Es arbeitet mit 6 Sektoren, die nur auf kürzeste Entfernungen voneinander fehlerfrei abzugrenzen sind. Außerdem haftet dem Verfahren ein theoretischer Fehler an. MORISITA (1964) wies nämlich nach, daß die Wurzeln der in Zufallsverteilungen gemessenen Abstände sich gar nicht zwingend normal verteilen müssen.

MOORE, 1954, stellt einen Homogenitätstest vor, für den die untersuchte Population vorher in Unterflächen unterteilt wird, in denen von zufällig ausgelegten Punkten Abstände zur nächstgelegenen Pflanze gemessen werden. Die Formel lautet

$$M = 2 \cdot h \cdot k \left\{ \log_e \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \tilde{\omega}_i - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \log_e \tilde{\omega}_i \right\}$$

wobei h = Zahl der Punkte in jedem der Teilareale

k = Zahl der Teilareale

$\tilde{\omega}_i$ = Durchschnitt der Abstandsquadrate

So erhält man M , für das es Tafeln mit den Signifikanzpunkten auf 5 %- und 1 %-Niveau gibt. Weicht der gefundene M -Wert signifikant von dem Tafelwert ab, so zeigt dies Heterogenität der Verteilung an.

Abgesehen davon, daß Heterogenität meist schon mit bloßem Auge erkannt werden kann, ist dieses Maß auch nicht identisch mit einem Klumpungsmaß, das im Zusammenhang mit dieser Arbeit mehr interessiert. Außerdem sind die Ergebnisse dieses Tests stark abhängig von der Art der Aufteilung der Population in Unterflächen. Verschiedene Unterflächengrößen und evtl. -formen können ganz unterschiedliche Heterogenitätsgrade ergeben.

HOPKINS (1954) wie auch MOORE (1954) weisen schließlich auf die Verwendung des Quotienten aus point-to-plant-Abständen und plant-to-plant-Abständen hin.

Es wird die Maßzahl $A = \frac{P^2}{I^2}$ gebildet,

wobei P = Mittelwert der Abstände Punkt - 1. Pflanze

I = Mittelwert der Abstände Individuum-nächster Nachbar

Ist A nicht signifikant verschieden von 1, so deutet das auf Zufallsverteilung hin, in der die mittleren P- und I-Abstände theoretisch gleich sein müssen. Ist $A > 1$ so weist das auf geklumpfte Verteilung hin, während bei $A < 1$ regelmäßige Verteilung vorliegt.

Die praktischen Nachteile der Zufallsauswahl von Ursprungspflanzen wurde mehrfach erwähnt. Das Verfahren ist deshalb für die praktischen Zwecke einer Verjüngungsinventur unbrauchbar.

MUEGGLER, 1953, und CATANA, 1954, (zitiert nach COX, 1971) haben Klumpungsindizes entwickelt, die die Pflanzenbestände innerhalb der Klumpen mit denjenigen in Beziehung setzen, die die Individuenkonzentrationen überbrücken. Letztere sollen durch Verwendung von Ausschlußwinkeln gewonnen werden.

Die Verwendung eines Winkelverfahrens neben einem anderen ohnehin schon komplizierten Abstandsverfahren zur Einschätzung der Dichte, so, wie es für diese Arbeit geplant war, erhöht jedoch den Aufwand beträchtlich. Außerdem handelt es sich wieder um die Erhebung von plant-to-plant-Abständen, die hier aus vorgenannten Gründen abgelehnt

werden müssen.

Den letztgenannten Nachteil hat die CATANA'sche Methode der "wandernden Quadrate" nicht (siehe Abschnitt 1.123). Da dieses ziemlich arbeitsaufwendige Verfahren jedoch nicht für die Dichteermittlung in Frage kam, weil es sich nicht in genau begrenzte relativ kleine Untersuchungsflächen zwängen läßt, mußte auch bei der Verteilungsstudie von seiner Verwendung abgesehen werden.

Ein weiterer Index von EBERHARDT, 1967, war bei Durchführung der Methodischen Studie noch nicht bekannt.

Dieser Klumpungsindex baut darauf auf, daß in der

$$\text{Poissonverteilung } \frac{E(r^2)}{[E(r)]^2} = VK^2 + 1$$

wobei $E(r^2)$ = Erwartungswert der Abstandskadrate

$[E(r)]^2$ = Quadrat der Erwartungswerte der Abstände

VK = Variationskoeffizient.

COX, 1971, konnte allerdings nachweisen, daß das EBERHARDT'sche Klumpungsmaß für höhere Klumpungsgrade gänzlich unempfindlich ist und daher wenig taugt.

Schließlich sei auf ein besonderes interessantes Verfahren von BRAY, 1962, hingewiesen, dessen Hauptvorteil in der problemlosen Erhebung der notwendigen Daten liegt, die nur mit wenig zusätzlicher Arbeit zusammen mit den Dichte-Stichprobenahmen gewonnen werden können. Ausgehend von einem Probenpunkt im Gelände, von dem aus zur Schätzung der Populationsdichte der Abstand zum n-ten Baum gemessen wird, muß die Spezies aller (n) Bäume registriert werden, die in die Stichprobe fallen. Wird diese Prozedur für alle Stichprobenpunkte des Samples wiederholt, dann erhält man über den zahlenmäßigen Anteil, mit dem jede Baumart in der Gesamtstichprobe vertreten ist, deren relative Dichte. Außerdem erhält man Beobachtungswerte, wie viele Stichprobenpunkte eine gegebene Art 0, 1, 2, 3, 4 . . . n mal enthalten haben. Diese Häufigkeiten lassen sich für den Fall, daß die Art zufällig über die Fläche verteilt ist, mit Hilfe

der folgenden Formel errechnen.

$$P_{0-n} = \frac{n!}{r!(n-r)!} q^{n-r} p^r$$

Dabei sind n = Gesamtzahl der Bäume, die pro Punkt berücksichtigt werden

r = Zahl der Individuen einer Baumart pro Punkt

p = relative Dichte der zu untersuchenden Art

q = 1 - p

Für den Fall der Quadrantenmethode nach MORISITA (1954) sowie COTTAM und CURTIS, 1956, lassen sich daraus folgende Erwartungswerte bei Unterstellung einer Zufallsverteilung herleiten

$$P_0 = q^4$$

$$P_1 = 4 p q^3$$

$$P_2 = 6 p^2 q^2$$

$$P_3 = 4 p^3 q$$

$$P_4 = p^4$$

Mit den so errechneten Erwartungswerten werden nun die Beobachtungswerte mittels χ^2 -Test verglichen.

Ist bei signifikantem Unterschied der Frequenzserien die Reihenfolge der Abweichungen positiv-negativ-positiv gegenüber den Erwartungswerten, so handelt es sich um ein geklumpstes Verteilungsmuster der zur Diskussion stehenden Baumart. Ist die Reihenfolge umgekehrt negativ-positiv-negativ, so ist reguläre Verteilung gegeben.

Die Methode wurde bisher anscheinend nur vom Autor selbst überprüft, und zwar an Modellen und mehreren Waldpopulationen. Angesichts des geringen Mehraufwandes und des Interesses an praktischer Bestätigung dieses einfachen Verfahrens wurde geplant, es auf seine Anwendbarkeit in Verjüngungsinventuren zu überprüfen.

Es muß allerdings gesagt werden, daß die Grundüberlegungen dieser Methode nur dann zutreffen, wenn alle in Betracht kommenden Arten insgesamt zufällig über die Aufnahme-
fläche

verteilt sind. Ob das in frühen Verjüngungsstadien schon der Fall ist, erscheint fraglich.

1.15 Kennzeichnung des Verteilungstyps durch Kombination von Probeflächendaten und Abstandsdaten

Neben den in den Abschnitten 1.131 und 1.132 aufgeführten Indizes zur Charakterisierung der Verteilung gibt es auch solche, die als eine Eingangsgröße die Dichte bzw. einen Schätzwert von ihr verwenden.

Das erscheint auf den ersten Blick paradox, denn so, wie sich die Frage im Falle von Verjüngungsinventuren stellt, ist ja gerade die Individuendichte die gesuchte Unbekannte, die durch Abstandsmessungen unter Zuhilfenahme des Verteilungscharakters möglichst zutreffend eingeschätzt werden soll. Unter diesen Umständen ist es nach Meinung des Autors prinzipiell unzulässig, die für die Erstellung eines Klumpungsindex notwendige Dichteschätzung aus demselben Material zu schöpfen, das durch eben diesen Klumpungsindex erst adjustiert werden soll¹⁾. Es muß die Dichte also auf andere Weise eingeschätzt werden, wenn man davon ausgeht, daß sie nicht wie im Falle von Schreibtischpopulationen oder kleinflächigen Analysen der Bodenvegetation voll ausgezählt werden kann. Dazu bleibt als einzige Möglichkeit die Anwendung eines Probeflächenverfahrens. CLARK und EVANS, 1954, schlagen einen Test vor, in dem der Mittelwert aller gemessenen Abstände zwischen Pflanzen und ihren nächsten Nachbarn in Beziehung gesetzt wird zu dem entsprechenden Erwartungswert, der sich bei Zugrundelegung einer Normalverteilung ergibt. Dieser Erwartungswert wird aus der Dichte abgeleitet, die entweder durch volle Auszählung oder aber durch Probeflächenstichproben gewonnen wird. Wie schon

1) Demzufolge kann COX, 1971 S.31 nicht zugestimmt werden, der bei der Diskussion solcher Indizes auf die wirtschaftlichere Alternative hinweist, die in diesem Zusammenhang die Abstandsverfahren bieten.

in anderem Zusammenhang beschrieben, ist die Zufallsauswahl von Initialpflanzen für die Abstandsmessung im strengen Sinne undurchführbar und über Hilfsverfahren (short-cut) einseitigen Fehlern unterworfen.

Außerdem hat sich gezeigt, daß die Aussagefähigkeit des CLARK-EVANS-Index eben wegen der Benutzung von plant-to-plant-Abstände nur den jeweils geringsten Grad an Abweichung von der Normalverteilung innerhalb der Population repräsentiert (da sich die meisten Messungen innerhalb der Klumpungen abspielen), während point-to-plant-Abstände bis zu einem gewissen Grade auch die Verhältnisse zwischen den Klumpungen widerspiegeln und damit dem Gesamtgrad der Abweichung einer Population von der Normalverteilung näher kommen (PIELOU, 1959).

Für die Praxis ist wichtig, daß ein gegebener CLARK-EVANS-Index, der markante Klumpung anzeigt, nichts über Zahl und Größe dieser Klumpen sagt und damit auch nichts über die Größe der dazwischen gelegenen Fehlstellen, wie COX, 1971, sehr anschaulich darstellte.

Die Nachteile des vorgenannten Klumpungsmaßes vermeidet der sogen. α -Test (PIELOU, 1959), der in seinem Grundkonzept schon von MOORE, 1954, vorgestellt wurde. Hier werden statt plant-to-plant- point-to-plant-Abstände benutzt. Es wird nachgewiesen, daß der Mittelwert aller Abstandsquadratrate ($\bar{\omega}$) bei repräsentativen Stichproben in Normalverteilungen gleich dem Wert $\frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{\pi D}$ ist,

wobei D = die in Probestellen ermittelte Dichte und
 n = die Zahl der Messungen ist

Folglich ist immer dann, wenn sich der Ausdruck $\pi \cdot \bar{\omega} \cdot D$ (der Kürze halber α genannt) signifikant von $\frac{n-1}{n}$ unterscheidet, Abweichung von der Normalverteilung gegeben.

Generell haftet den genannten kombinierten Verteilungstests der Nachteil der Zweigleisigkeit an. Wenn man sich für die Anwendung von Probestellenstichproben entschließt

und dabei ohne Mehraufwand ein im großen und ganzen brauchbares Klumpungsmaß, nämlich den Index $q = \frac{S^2}{\bar{m}}$, mitgeliefert bekommt, steht der Mehraufwand für zusätzliche Abstandsmessungen in keinem günstigen Verhältnis zum Grad an Informationsverbesserung, den ein kombinierter Index wie z.B. der von PIELOU liefert.

Nach Abschluß der Methodenerprobung im Rahmen dieser Arbeit wurde von COX, 1971, ein weiteres kombiniertes Verfahren vorgestellt, das sogen. Nullflächendiagramm, das sowohl die Entwicklung eines weiteren Klumpungsindex erlaubt, als auch als Mittel zur Beschreibung von Verjüngungszuständen empfohlen wird. Das Verfahren basiert auf 2 Grundüberlegungen:

1. In einer Plot-Stichprobe gibt der Prozentsatz an Probenflächen, in denen sich 0 Pflanzen befinden, einen wichtigen Hinweis auf die Art der Verteilung. Ausgleichsversuche von beobachteten Frequenzserien durch die Poissonverteilung (BLACKMAN, GREIG-SMITH) oder durch die negative Binomialverteilung (ANSCOMBE, BLISS, KER) benutzen den Nullflächenanteil ebenso, wie die Verjüngungsinventurmethode der "bestockten Quadrate". Dabei hat sich als Nachteil erwiesen, daß die Probeflächengröße aus inventurtechnischen Gründen fast nie den ertragskundlich-ökologischen Flächenbedarf der Pflanze - der sich mit zunehmenden Alter kontinuierlich ändert - widerspiegeln kann.
2. Nach STRAND, 1953, läßt sich aus der Variablen der Abstände von einem Meßpunkt zum 1. Baum der Prozentsatz der 0-Flächen für jede Probekreisgröße ableiten, vorausgesetzt, man kennt aus einer Probeflächenstichprobe die mittlere Zahl der Pflanzen pro plot und damit λ , den Schätzwert der Dichte λ .

Adjustiert man durch Kombination von Abstands- und Probeflächendaten nachträglich rein rechnerisch die Probeflächengröße dergestalt, daß sie dem Standraum einer Pflanze der untersuchten Altersphase entspricht, dann wird der nunmehr errechnete Nullflächenanteil zum gewünschten ökologisch-ertragskundlichen Maßstab.

COX gibt sowohl die entsprechenden Ableitungen für den Poisson-Fall, als auch diejenigen für den Fall der negativen Binomialverteilung. Er kommt so zu Nullflächendiagrammen für theoretische Verteilungen mit Klumpungsgraden ($\frac{s^2}{m}$ - Test) von 1 bis 6, die in Abb. 14 wiedergegeben werden.

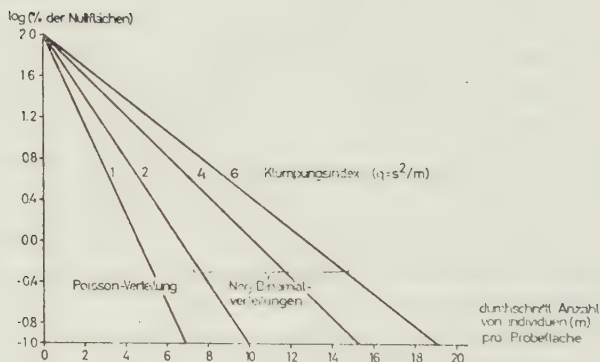
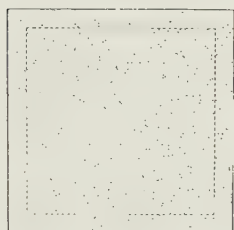


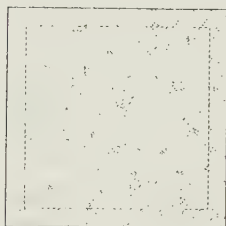
Abb. 14 Nullflächen-Diagramme für die Poisson-Verteilung und für drei Fälle der negativen Binomial-Verteilung.

Auf einige seiner Modelle angewandt, ergeben sich beispielsweise für die Populationen 5, 10 und 13 die nebenstehenden Nullflächendiagramme (siehe Abb. 15).

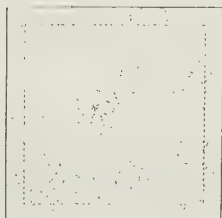
Die O-Flächendiagramme können nun wie folgt zur Beurteilung des Verjüngungszustandes herangezogen werden.



Modell 5



Modell 10



Modell 13

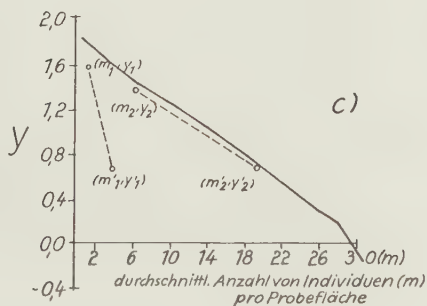
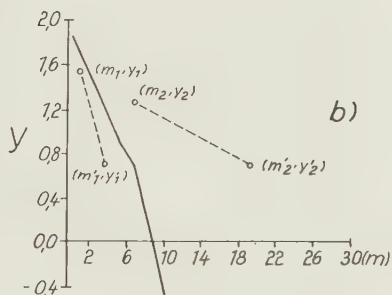
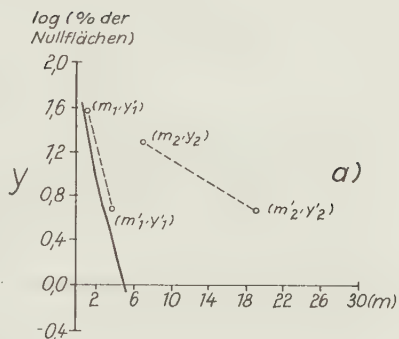


Abb. 15 Drei Populationen mit unterschiedlicher Verteilungsstruktur und die dazugehörigen Nullflächendiagramme nach COX, 1971.

- 1) Es wird anhand der gemessenen Populationsparameter das entsprechende Nullflächendiagramm für den Bestand aufgestellt.
- 2) Es wird für das Endalter des Bestandes eine Anzahl an Erntebäumen postuliert und die Bedingung gestellt, daß nicht mehr als eine bestimmte Anzahl an Nullflächen (von der Größe des mittleren Standraumes dieser Erntebäume) auftreten, denn das Ziel ist ja die volle Ausnutzung der Produktionsfläche. Dieses Nullflächenprozent ist in Poissonverteilungen $\approx 37\%$, in den zu regelmäßiger Verteilung neigenden Altbeständen sollte man $\approx 20\%$ fordern.
Nun wird als 2. Bedingung gestellt, daß größere Blößen z.B. von der 3fachen Standraumgröße höchstens in 5 % der so erweiterten Probeflächen auftreten. Diese beiden Bedingungen, mathematisch formuliert, lassen sich als "Kritische Punkte" in das Nullflächendiagramm einführen, die Gerade, die sie verbindet, wird als kritische Linie bezeichnet.
- 3) Der gleiche Vorgang wie unter 2) geschildert wird für das aktuelle Alter wiederholt, mit der für diesen Zeitpunkt geforderten sehr viel höheren Stammzahl und den Bedingungen, die an die Verteilung zu stellen sind. Daraus ergibt sich eine 2.kritische Linie für das Jugendalter.
- 4) Die Interpretation erfolgt nach der Lage der kritischen Linie zum Nullflächendiagramm. Liegen beide kritischen Linien oberhalb der realen Bestandeslinie, so besagt das, daß die Bedingungen bezüglich Zahl und Verteilung im Jugendalter erfüllt und für das Endalter erfüllbar sind.
Liegt die "Jugendziellinie" unter der realen Bestandeslinie, die "Altersziellinie" jedoch darüber, so besagt das, daß zwar die Bedingungen an die Jugendphase nicht ganz erfüllt sind, sich diese Verteilungsmängel aber bis ins Alter auswachsen. Qualitätseinbußen durch Innenränder etc. können allerdings nicht ausgeschlossen werden.

Liegen beide kritischen Linien unter der realen Bestandeslinie, so sind die gestellten Bedingungen im gegenwärtigen Zeitpunkt nicht erfüllbar und auch als Zielvorstellung unerfüllbar.

Als Nebenprodukt läßt sich im übrigen aus jedem Nullflächendiagramm auch ein Klumpungsmaß gewinnen, das nicht den Nachteil der Abhängigkeit von der Probeflächengröße hat. Das Verfahren geht von der schon erwähnten Überlegung aus, daß bei einer hinlänglich umfangreichen Stichprobe mit Probeflächen von der Größe des mittleren Individuenstandraumes ein Anteil von 36,8 % Nullflächen für den Poissonfall charakteristisch ist. Bei Probeflächen der 3fachen Größe sind es 5 %.

Geht man mit diesen Bedingungen in ein Nullflächendiagramm für eine theoretische Poissonverteilung (siehe z.B. Abb. 14), so erhält man:

$$I_k = a \cdot b \cdot k = 1$$

wobei I_k = Klumpungsindex nach COX

a = der entlogarithmierte, durch 100 geteilte Ordinatenwert beim Abszissenwert 1 (= 36,8: 100)

b = der Abszissenwert beim entlogarithmierten Ordinatenwert 0,7 (= Nullflächenanteil von 5 %)

k = eine Konstante mit dem Wert 0,907

Das Produkt aus a und b bleibt für Poissonverteilungen ganz unterschiedlicher Individuendichte gleich. Es ändert sich jedoch in von der Poissonverteilung abweichenden Populationen. Hier wird das Produkt größer mit zunehmender Klumpung und kleiner mit zunehmender Regelmäßigkeit der Verteilung. Aus jedem realen Nullflächendiagramm lassen sich die Werte für a und b in genau gleicher Weise herleiten, wie für die Poissonlinie: a mit Hilfe desjenigen Ordinatenwertes, den die 0-Linie beim Abszissenwert 1 erreicht, und b als derjenige Abszissenwert, den die 0-Linie beim Ordinatenwert 0,7 erreicht.

Dieses Cox'sche Verfahren der Nullflächendiagnose kann zusammenfassend als einer der interessantesten Beiträge zum Problem der Verjüngungsinventuren bezeichnet werden. Etwas hinderlich ist allerdings die Zweigleisigkeit der Datenerhebung, die einerseits λ als Dichtemaß liefern muß und andererseits Abstände zum 1. Individuum, mit denen zuverlässige Dichteschätzungen bekanntlich nicht vorgenommen werden können.

LOETSCH, 1973 b, gelang es, die Nullflächendiagnose nach COX weiter zu vereinfachen, dergestalt, daß auch ohne Kenntnis von λ eine Beurteilung der Verjüngungssituation möglich wird.

Dazu werden auf der Abszisse des geschilderten Nullflächendiagramms absolute Flächenwerte aufgetragen, statt, wie bei COX, Nullflächengrößen, die durch Multiplikation mit λ relativiert wurden. Die Datenauswertung geht nun so vonstatten, daß zunächst aus den vorliegenden Abstandswerten Klassen gebildet werden und für jeden Klassenmittelwert $\bar{r}_1$ die Kreisfläche errechnet wird, die ihm entspricht. Gruppiert man diese durchschnittlichen Kreisflächenwerte entsprechend der prozentualen Häufigkeit ihres Auftretens in der Stichprobe, dann läßt sich über den entsprechenden Kreisflächenwerten (Abszisse) die dazugehörige abnehmende Summenhäufigkeit in Prozent oder in logarithmischer Form (Ordinate) auftragen.

Abb. 16 zeigt ein solches Diagramm nach LOETSCH, in dem für 3 Jungwuchspopulationen der Gattung Tetraberlinia aus Liberia entsprechende Nullflächenlinien eingetragen sind. Weiterhin sind - ähnlich wie im Beispiel von COX - zwei Zielgeraden eingezeichnet, die die gewünschten Stammzahl- und Verteilungsbedingungen im Endbestand bzw. in der Jugendphase repräsentieren.

Während Bestand II rechts von diesen beiden Zielgeraden liegt und somit weder in der Jugend noch im Alter die gestellten Forderungen erfüllen kann, liegt Bestand I

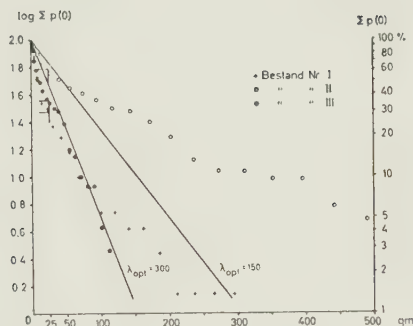


Abb. 16 Nullflächendiagramm mit absoluter Nullflächengröße als Abszissenskala. I-III sind Tetraberlinia-Bestände aus Liberia (Boomi Hill). Die aufgenommene Jungwuchspopulation zeigt etablierte Pflanzen von 1,3 m Höhe bis 10 cm BHD (nach Loetsch, 1973).

zwischen beiden Zielgeraden und Bestand III links von ihnen; die letztgenannte Population erfüllt also auch die Optimalforderungen, die für das Jugendalter erhoben werden. Dieser Bestand weist als einziger so günstige Standraumbedingungen auf, daß er unbeschadet der unterstellten natürlichen Mortalitätsverluste von 50 %, die er im Verlauf seiner Entwicklung erleiden wird, noch die gestellten Optimalforderungen für den Endbestand erfüllen kann.

Die Ausklammerung des Wertes λ als Konstruktionselement für die Nullflächenlinie eines gegebenen Bestandes, so wie sie LOETSCH vorschlägt, muß allerdings mit einem gewissen Informationsverlust bezahlt werden. So ist eine

differenzierte Aussage darüber, warum ein Bestand den Bedingungen der Zielgeraden nicht entspricht, nach diesem Verfahren unmöglich. Unzureichende Stammzahl, mangelhafte Verteilung der Individuen oder beides können die Gründe sein. Auch ein Klumpungsindex läßt sich nicht gewinnen, wie im COX'schen Beispiel, in dem λ bekannt war.

1.2 Vorstudien zur Anpassung der ausgewählten Aufnahme-
methoden an die gegebene Verjüngungssituation

1.21 Aufnahmeprogramm

Von den geschilderten Methoden wurden, wie in den vorigen Abschnitten begründet, folgende Aufnahmeverfahren in die engere Wahl gezogen und in einer Vorstudie an die herrschenden Freilandbedingungen angepaßt:

- a) Das klassische Probeflächenverfahren, mit dem Ziel, durch volle Auszählung der Verjüngungspflanzen in den plots zu einer Einschätzung der Dichte getrennt nach Baumarten zu gelangen und aus der beobachteten Serie der Frequenzen Einblicke in die Verteilungsstruktur zu gewinnen.
- b) Ein Abstandsverfahren nach MORISITA, in dem Abstände höherer Ordnung ($n = 3$) in mehreren Sektoren ($k > 1$) von zufällig verteilten Punkten aus gemessen werden sollten.
- c) Kontrasthalber zwei Abstandsverfahren, die auf Erhebung von Abständen niederer Ordnung basieren (Punkt-nächste Pflanze; Punkt-nächste Pflanze in Quadranten).
- d) Verteilungstest nach BRAY, der mit den aus c) gewonnenen Informationen zuzüglich Aufzeichnung der Baumart aller berücksichtigten Pflanzen auskommt.
- e) Quantifizierung der "Bambus"-Konkurrenz (*Chusquea* sp.) durch Verwendung der Abstände von Punkten zum jeweils nächstgelegenen Rohr.

1.22 Beschreibung der Aufnahmefläche

Als besonders geeignet für eine derartige Methodenstudie erschien eine Fläche innerhalb des letzten großen Vorkommens von N. alpina, das sich, wie a.a.O. beschrieben, in der Provinz Valdivia befindet. Es handelt sich um ein ausgedehntes totalexploriertes Terrain innerhalb des

damaligen Fundos Trafun in der Andenkordillere (39° 35' S; 71° 55' W). Die Höhenlage betrug 900 - 950 m über NN, das Terrain war nach Osten hin mäßig geneigt.

Die ehemalige Baumartenzusammensetzung war, wie sich noch aus stehenden und liegenden Resten der nur kurz zurückliegenden Exploitation ergab, folgende:

Die Oberetage bildeten die beiden Nothofagusarten Raulí und Coigüe in Einzelmischung mit höherem Mischungsanteil von Coigüe.

Eine zweite Etage wurde von den immergrünen Baumarten Tapa und Tineo eingenommen, letzterem mit zahlenmäßig geringer Beteiligung. Vereinzelt war die Nadelbaumart Mañio hembra vertreten gewesen, die gewöhnlich bis in die untere Zone der zweiten Etage hineinragt. Als Baumart niederer Ordnung war schließlich Tiaca (Caldcluvia paniculata (CAV.) D. DON) noch vereinzelt vorhanden.

Eine ausführliche Beschreibung dieses Waldtyps findet sich bei BURSCHEL et al. 1970.

Nach der Exploitation des zweifellos hochgradig überalterten Bestandes, die zwischen 1965 und 1967 stattgefunden haben muß, waren nur noch ganz vereinzelt Altbäume von Raulí und Coigüe auf dem Stock geblieben, die wegen holztechnischer Mängel für die Nutzung offenbar uninteressant gewesen waren. Außerdem war viel liegendes Holz in der Fläche verblieben, das die Begehbarkeit sehr erschwerte. Das größte Hindernis stellte jedoch die üppige Bambusvegetation von Chusquea coleu dar, die, begünstigt durch den vollen Lichtgenuß, das Terrain total erobert zu haben schien und die Durchführung der Aufnahmearbeiten extrem erschwerte.

Aus dem beschriebenen Gelände, das in seiner Ausdehnung nur schwer abzuschätzen war, wurde zunächst eine Fläche von 1 ha ausgewählt, die eine Anhäufung der geschilderten widrigen Bedingungen aufwies. Diese Fläche wurde kenntlich gemacht durch eine 200 m lange geradlinige Schneise von Ost nach West, die mit der Machete in den Bambus-Dschungel geschlagen wurde. Von dieser Schneise aus wurde jeweils

eine 25 m breite Zone nach Nord und Süd mit Probeflächen bzw. Meßpunkten belegt.

Breitere Aufnahmezonen hätten sich ohne grobe Orientierungsfehler beim Aufsuchen der Punkte bzw. Pflanzen nicht bewältigen lassen. So ergab sich die in Abb. 17 dargestellte Aufnahmefläche, in der die Vorstudie durchgeführt wurde.

1.23 Anpassung des Probeflächenverfahrens

Was die Anpassung der anzuwendenden Verfahren anging, so mußten beim Probeflächenverfahren die optimale Plotgröße, ihre Form sowie die Art der Probeflächenverteilung über die Fläche bestimmt werden. Von entscheidender Bedeutung war weiterhin die Frage des Flächenaufnahmeprozents. Eine erste gutachtliche Einschätzung der Verjüngungssituation bestätigte, daß die Verteilung vor allem des Coigüe extrem heterogen erschien, bei nur sehr mäßiger Besatzdichte. Beim Raulí, der im Zentrum des Interesses stand, waren Heterogenität und Seltenheit als erschwerende Faktoren für die Stichprobennahme weniger stark ausgeprägt. Immerhin wies auch die Raulí-Verteilung so starke Klumpungen auf, daß 10 m² als Probeflächengröße wegen möglicher Zählfehler ausschied. Selbst auf 5 m²-Basis schien die volle Auszählung, besonders im Falle des Coigüe, noch mühsam genug. Als Form schien der Kreis die einzig praktikable Lösung, der sich anhand einer mitgeführten Latte von der Länge r (= 1,26 m bei 5 m² Probekreisfläche), ausgehend vom markierten Probeflächenzentrum, leicht begrenzen ließ. Das Flächenaufnahmeprozent wurde für einen 1. Durchgang auf 5 % festgelegt, das sind 100 Probekreise a 5 m² pro ha. Ausgelegt wurden diese Probekreise nach Zufallsgesichtspunkten¹⁾, die Verteilung der 100 Probekreiszentren zeigt Abb. 17 a.

1) Dazu wurde ein imaginäres Gitternetz mit einer Maschenweite von 1 m² über der Fläche gelegt. Die Koordinaten derjenigen Knotenpunkte, die zugleich als Probekreiszentrum dienen sollten, wurden durch Los bestimmt.

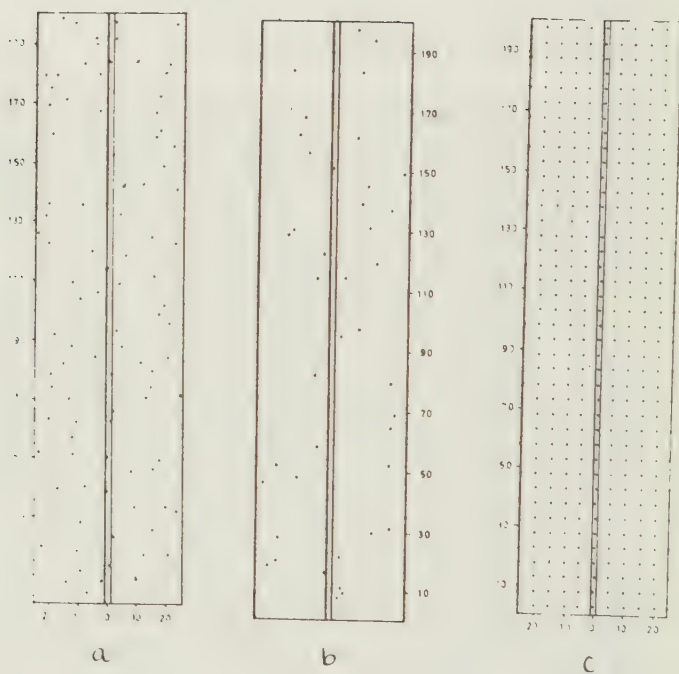


Abb. 17 Verteilung der Meßpunkte bzw. Probekreiszentren für die methodische Vorstudie im Exploitationsgebiet Trafun.

- a) Lage der 100 zufallsverteilten Probekreiszentren
- b) Lage der 40 zufallsverteilten Meßpunkte für Abstandsmessungen
- c) Lage der 400 systematisch verteilten Probekreiszentren.

1.231 Schätzung der Individuenzahl pro Flächeneinheit

Die Ergebnisse der Dichteschätzung sind in Tab. 5 wiedergegeben. Es zeigt sich, daß angesichts der heterogenen Verhältnisse das Flächenaufnahmeprozent von 5 nicht ausreichend gewesen war, um Schätzwerte in akzeptablem Fehlerrahmen ($\pm 20\%$) zu liefern. Besonders unbefriedigend war das Ergebnis der Coigüe-Stichprobe, die einen Standardfehler (des Mittelwertes) von rd. 87% aufwies und damit jenseits auch der großzügigsten Genauigkeitsansprüche lag. Angesichts der unbefriedigenden Ergebnisse wurde ein zweiter Durchgang, diesmal mit 400 Probeflächen a 5 m^2 (Flächenaufnahmeprozent von 20) anberaumt, dabei mußte auf eine systematische Verteilung der Probekreiszentren übergegangen werden (siehe Abb. 17 c), weil die Einmessung von 400 zufallsverteilten Punkten einen unvertretbar hohen Aufwand dargestellt hätte.

Diese systematische Anordnung der Probekreiszentren im Abstand von jeweils 5 m untereinander erlaubt es, auf folgende Weise vorzugehen:

Mit Hilfe von Kompaß und einer 5 m langen Bambusstange arbeitet sich der Meßtrupp (2 Mann) ausgehend von der Mittelschneise, auf der die Linienabstände markiert sind, durch den Bambusverhau, wobei das Rohrdickicht mit der 5 m-Meßstange durchstoßen werden und damit die Richtung genau beibehalten werden kann, im Gegensatz zur Arbeit mit Bandmaßen. Die Endpunkte der genau in Nord-Südrichtung orientierten Meßstange bezeichnen so die Probeflächenzentren.

Die Ergebnisse dieses Durchgangs finden sich ebenfalls in Tab. 5. Während die Dichteschätzung für die Rauli-Population mit einem Standardfehler von 17% hinlänglich genau erfolgt war, brachte die Stichprobe für die Coigüe-Population keine nennenswerte Verbesserung.

Flächen- aufnahme- prozent	Baumart	Individuen- zahl ha	Standard- fehler	Standardfehler in % des Mittelwertes
5 %	Raulí	2484	+ 828	33.33
	Coigüe	848	+ 736	86.75
20 %	Raulí	1370	+ 233	17.02
	Coigüe	765	+ 641	83.84

Tabelle 5. Dichteschätzung auf Probekreisbasis getrennt nach Baumarten unter Anwendung verschiedener Aufnahmeprozente.

Für beide Baumarten zeigen die Ergebnisse dieser Vorstudie, welche enormen Schwierigkeiten sich jeder halbwegs präzisen Einschätzung der Populationsparameter in derartigen Verjüngungsflächen entgegenstellen. Der Aufwand, der notwendig war, um wenigstens im Falle der Raulí-Population zum Ziele zu gelangen, rechtfertigt sich nur für den Fall exemplarisch-wissenschaftlicher Untersuchungen. Die Coigüe-Population entzog sich dagegen vollends jeder realisierbaren Stichprobenerhebung. Hier hätte nur eine weitere Probekreisverkleinerung mit entsprechend viel größerer Zahl an Beobachtungen bessere Ergebnisse bringen können, was auf allzu große Durchführungsschwierigkeiten gestoßen wäre. Das Problem wurde deshalb zurückgestellt, mit der Erwartung, daß unter besseren Bedingungen wie z.B. größerer Individuenhäufigkeit, weiter fortgeschrittenem Selektionsprozeß, der zur allmählichen Auflösung der Klumpungen führt, und Ausdehnung des Stichprobenumfangs, wie sie sich auf größeren Flächen von selbst ergibt, die Coigüe-Populationen einer Dichteschätzung im Probekreisverfahren zugänglicher würden.

1.232 Studium der Verteilungsstruktur auf Basis der Probekreisdaten

Auf die methodische Problematik, aus Probekreisen starrer Größe fehlerfreie Einblicke in die Verteilungsstruktur zu gewinnen, wurde bereits ausführlich hingewiesen: Die

Ergebnisse sind nicht unabhängig von der benutzten Probenflächengröße. Dennoch können gewisse Hinweise gewonnen werden, zumal, wenn man weiß, wie geartet das gewählte Verhältnis zwischen Probekreisgröße und durchschnittlicher Klumpenfläche ist. Im Falle der Raulí-Population war der Probekreis von 5 m^2 kleiner als die Flecken der Individuenaggregationen, so daß mit einer Unterschätzung der Klumpungstendenz gerechnet werden konnte.

Klumpungsindex q

Aus der Frequenzserie von Pflanzen pro Aufnahmeeinheit ergab sich ein Quotient von Varianz zu Mittelwert, der in der Raulí-Population $\frac{5.4394}{0.6850} = 7,94$ betrug. Der Klumpungsindex q beträgt also ≈ 8 .

Um eine Vorstellung davon zu bekommen, wie sich ein Klumpungsgrad dieser Größenordnung auf das Verteilungsbild auswirken kann, sei hier zum Vergleich eine Modellpopulation mit einem Klumpungsindex von $q \approx 6$ aus COTTAM, CURTIS und CATANA, 1957, abgebildet (siehe Abb. 18). Im Falle der hier untersuchten Population ist die Abweichung von der Poisson-Verteilung noch eklatanter, besonders wenn man davon ausgeht, daß wegen der relativ kleinen Probekreise die Tendenz zur Aggregation noch unterschätzt wird.

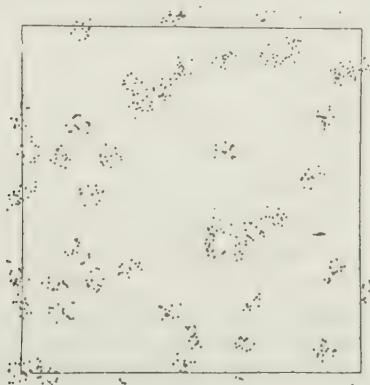


Abb. 18 Modellpopulation mit einem Klumpungsindex $q \approx 6$
(aus COTTAM, CURTIS und CATANA, 1957)

In einem zweiten Schritt wurde versucht, die Frequenzserie gegen die Negative Binomial-Verteilung zu testen, so wie es im Abschnitt 1.131 dargestellt worden ist. Tabelle 6 zeigt den entsprechenden χ^2 -Test.

Pflanzenzahl pro Probekr.	Zahl der Probekr. mit x Pfl. (Plotfrequenzen)	Erwartungswerte d. Plotfrequenzen n. Neg. Binomialverteg.	Differenz Beobachtungswert-Erwartungswert	Quadrate der Differenz	$\frac{(f - \emptyset)^2}{\emptyset}$
x	f	$\emptyset$	f - $\emptyset$	$(f - \emptyset)^2$	
0	319	319.00	0	0	0
1	39	32.01	+ 6.99	48.86	1.5260
2	12	15.28	- 3.28	10.75	0.7035
3	9	9.21	- 0.21	0.04	0.0040
4	8	6.13	+ 1.87	3.49	0.5690
5	3	4.30	- 1.30	1.69	0.3930
6 und mehr	10	14.07	- 4.07	16.56	1.1769
	400	400.00	0.00		4.3724
					P = 0.5

Tabelle 6 Anwendung des χ^2 -Tests für den Vergleich der Frequenzserie von Beobachtungswerten mit den Erwartungswerten nach der Negativen Binomialverteilung

Dem Tafelwert von 11.07 bei 5 Freiheitsgraden und Unterstellung einer Zufallswahrscheinlichkeit von 5 % steht ein errechneter χ^2 -Wert von 4.37 gegenüber. Danach ist die vorhandene Abweichung nicht signifikant, sondern mit ca. 50prozentiger Wahrscheinlichkeit zufälliger Natur. Der Ausgleich der Variablen durch die Negative Binomialverteilung führt daher zu befriedigenden Ergebnissen. Abb. 19 zeigt die entsprechenden Frequenzkurven im grafischen Vergleich.

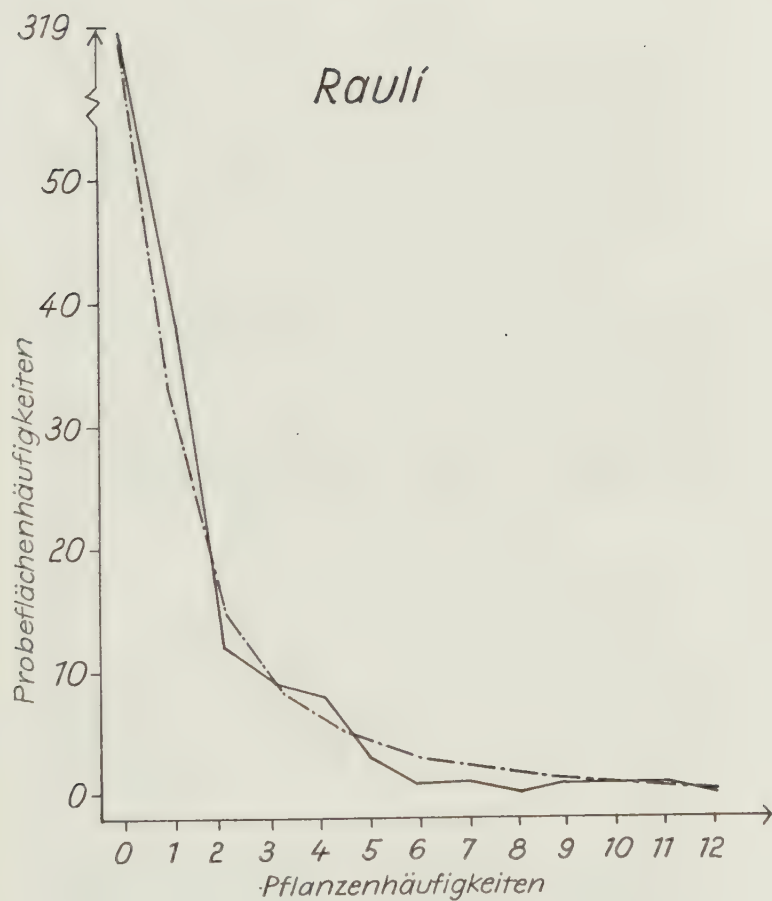


Abb. 19 Frequenzkurven der Probekreise mit 1, 2, . . . , n Pflanzen nach Aufnahmedaten (durchgezogene Linie) und Erwartung einer Negativen Binomialverteilung (gestrichelte Linie).

1.24 Anpassung des Abstandsverfahrens

Für die Anwendung des MORISITA'schen Verfahrens, das mit Abständen höherer Ordnung in mehreren Sektoren arbeitet, wurde davon ausgegangen, daß 40 Meßpunkte, zufällig über die Fläche verteilt, das Maximum an vertretbarem Aufwand darstellen. Bei Benutzung vierer Sektoren ergaben sich entsprechend 160 Messungen, bei nur 2 Sektoren 80. Die Verteilung der Meßpunkte über die Aufnahmefläche zeigt Abb. 17 b.

In einem ersten Durchgang wurden jeweils die Abstände zur 3. Raulipflanze in 4 Sektoren gemessen. Das Ergebnis zeigt Tab. 7. Die Schätzwerte d_1 und d_2 nach dem MORISITA-Verfahren liegen weit auseinander; das muß der Besonderheit des Verteilungsmusters zugeschrieben werden. Die jeweiligen Standardfehler liegen dagegen mit rd. 30 % nicht übermäßig hoch, wenngleich das angestrebte Fehlerniveau von ± 20 % nicht erreicht wurde.

Entsprechend den Ausführungen im Abschnitt 1.124 liefert bei einem Klumpungsgrad von $q \approx 8$ das Mittel aus d_1 und d_2 die beste Dichteschätzung, siehe auch Abb. 11. Dieses Mittel beträgt im vorliegenden Fall 1 301 Pfl/ha, was mit dem Ergebnis der Probeflächenaufnahme in guter Übereinstimmung steht. Unbefriedigend bleibt die weite Spanne, mit der d_1 und d_2 das "wahre" Ergebnis eingabeln.

Es wurde daher in einem zweiten Durchgang versucht, den Verteilungseinfluß durch Wahl des Abstandes zum 5. bzw. 6. Individuum zu verringern. Der höhere Meßaufwand und die Identifikationsfehler, die zwangsläufig mit höherer Ordinalzahl der aufzusuchenden Individuen verbunden sind, sollte durch Herabsetzung der Sektorenzahl von 4 auf 2 kompensiert werden. Tabelle 7 zeigt, daß es gelang, den "wahren" Dichtewert auf diese Weise enger einzugabeln. Allerdings erhöhten sich die jeweiligen Standardfehler wegen der Reduzierung der Messungen auf die Hälfte der Anzahl (2 statt 4 Messungen pro Punkt). Das muß gegebenenfalls durch Erhöhung der Zahl der Meßpunkte ausgeglichen werden.

Verfahrens- variante	Dichteschätzung in Pflanzen/ha	Mittelwert der beiden Dichte- Schätzungen	Vergleichswert aus dem Probe- kreisverfahren
n = 3 k = 4	$d_1 = 2115 \pm 700$ $d_2 = 478 \pm 125$	$\frac{d_1 \times d_2}{2} = 1301$	1370 ± 233
n = 5 k = 2	$d_1 = 1872 \pm 759$ $d_2 = 1225 \pm 632$	$\frac{d_1 + d_2}{2} = 1548$	
n = 6 k = 2	$d_1 = 1857 \pm 732$ $d_2 = 709 \pm 372$	$\frac{d_1 + d_2}{2} = 1283$	

Tabelle 7 Ergebnisse aus 3 Varianten des Abstandsverfahrens nach MORISITA und Vergleichswert aus dem Probe-kreisverfahren in einer Population von Rauli-pflanzen.
n = Ordnungszahl des gemessenen Abstandes
k = Zahl der Sektoren mit n Messungen.

1.25 Verwendung von Abständen niederer Ordnung

1.251 Dichteschätzung

Im Abschnitt 1.122 wurde darauf hingewiesen, daß Abstände zum erstnächsten Individuum von Punkten aus gemessen in geklumpten Verteilungen zu Überschätzung des wirklichen $\bar{r}_1$ -Wertes führen und damit die Populationsdichte unterschätzen. (COTTAM und CURTIS, 1956)

Es schien nun im Zusammenhang mit dieser Vorstudie interessant, wie stark sich ein solcher systematischer Fehler in der vorgefundenen Verjüngungspopulation auswirken würde. Entsprechend wurde das Programm der Abstandsdatenerhebung ausgedehnt auf Messungen Punkt-nächste Pflanze überhaupt und Punkt-nächste Pflanze in 4 Sektoren.

Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 8

Verfahrens- variante	Dichte- schätzung in Pfl/ha	Zahl der gemessenen Abstände	Vergleichswert aus dem Probe- kreisverf.
Punkt-1.Pflanze	187	40	
Punkt-1.Pflanze in 4 Sektoren	198	160	1370 $\pm$ 233

Tabelle 8 Ergebnisse aus 2 Varianten der Messung von Abständen niederer Ordnung in einer Population von Raulí-Pflanzen.

Die Dichteschätzungen liegen weit unter dem Ergebnis der Probeflächenaufnahme, die als Bezugsbasis dienen. Die Tatsache, daß die beiden Abstandsverfahren fast genau die gleiche Dichteschätzung erbrachten, muß als zufällig betrachtet werden. Beide Ergebnisse sind Mittelwerte von Variablen, die extreme Streuungen aufweisen und mit Sicherheit keiner Normalverteilung entstammen. Es wird daher auch auf die Angabe von Standardfehlern verzichtet, die sich bei (an sich unzulässiger) Unterstellung einer normal verteilten Grundgesamtheit von r_1 -Abständen - wegen mehrerer Ausreißerwerte selbst im günstigeren Fall des Quadrantenverfahrens noch auf mehr als das 2,5fache des Resultates beliefen.

Trotz der geringen Vertrauenswürdigkeit der erhaltenen Schätzwerte zeigen beide Verfahren eine deutliche Tendenz zur Unterschätzung der Populationsdichte, womit ihre Unbrauchbarkeit für diese und ähnliche Verjüngungsinventuren bestätigt wäre.

1.252 Studium der Verteilungsstruktur auf Basis der
Abstandsdaten

Im Abschnitt 1.132 wurde auf das Verfahren von BRAY hingewiesen, das mit Hilfe der 1. Abstände in Quadranten und der Bestimmung der Baumart jedes Individuums, das in die Abstandsmessungen mit einbezogen wird, Einblicke in die Verteilungsmuster jeder der berücksichtigten Baumarten vermittelt. Methodische Voraussetzung war, daß die Gesamtpopulation aller Baumarten annähernd poisson-verteilt sein muß, weil nur so der Schluß von relativen auf absolute Verhältnisse zulässig ist. Es wurde daher für sinnvoll erachtet, nicht nur die beiden verhältnismäßig lichterfüllten Nothofagusarten zu berücksichtigen, sondern auch die nutzungstechnisch uninteressante Schattart Tapa, um so zu einem vollständigeren Mosaik der Gesamtpopulation zu gelangen.

Aus den registrierten Baumarten pro Punkt ließ sich folgende relative Dichte (= Baumartenzusammensetzung) ableiten:

Rauli	= 54 %
Coigüe	= 12 %
Tapa	= 34 %

Tabelle 9 zeigt den prozentualen Anteil der Probenahmen, in denen 0, 1, 2, 3 oder 4 Individuen der fraglichen Baumart vorkamen, und wie die entsprechenden Erwartungswerte für die Fälle P_0 , P_1 , P_2 , P_3 und P_4 ausfallen, wenn man eine Poissonverteilung unterstellt.

In allen Fällen ist die Reihenfolge der Abweichungen gegenüber den Erwartungswerten positiv-negativ-positiv; sowohl die Nothofagusarten, als auch die Schattholzart Tapa entstammen also geklumpten Verteilungen. Die letztgenannte Baumart verzünkt sich häufig vegetativ und ist dann in ihrem Erscheinen an schon vorhandene Wurzelsysteme bzw. Stöcke gebunden.

Das Maß der Klumpung kann man nur recht unvollkommen aus den Ergebnissen des χ^2 -Tests bestimmen, in dem man untersucht, welcher χ^2 -Wert am weitesten von dem vorher

fixierten Prozentschwellenwert der Tafel entfernt ist. Im vorliegenden Falle zeigt sich, daß Rauli einen χ^2 -Wert zwischen den Zufallswahrscheinlichkeiten $P = 1\%$ und 0.1% aufwies, während Coigüe ziemlich genau auf der 0.1% -Schwelle lag und Tapa noch weit darunter. Die Rauli-Population weist danach den mäßigsten Klumpungsgrad auf, gefolgt von Coigüe und Tapa.

	Rauli		Coigüe		Tapa	
	(D $\bar{x}$ =54, P<1%, >0,1%)		(D $\bar{x}$ =12, P $\approx$ 0,1%)		(D $\bar{x}$ =34, P = <0,1%)	
	Erwartet in %	Beob. in %	Erwart. in %	Beob. in %	Erwart. in %	Beob. in %
P ₀	4,48	15,0 +	59,97	70,0 +	18,97	40,0 +
P ₁	21,02	22,5	32,71	15,0 -	39,10	20,0 -
P ₂	37,14	17,5 -	6,69	10,0 +	30,21	12,5
P ₃	28,88	22,5	0,59	5,0	10,38	20,0 +
P ₄	8,50	22,5 +	0,00	0,0	1,34	7,5
	100	100,0	100	100,0	100,00	100,0

Tabelle 9 Verteilungsstudie nach BRAY in einer Mischpopulation von Baumverjüngungen unter Anwendung des Quadrantenverfahrens.

1.253 Quantifizierung der Konkurrenzvegetation

Ein Versuch, mit Hilfe von Abständen zum 1. Individuum zu einer Dichteschätzung des Rohrdickichts von Chusquea coleu zu kommen, brachte nicht den gewünschten Erfolg.

Auch wenn es im Zusammenhang mit der Konkurrenzvegetation keinen Bezugswert aus einem Probeflächenverfahren gab, war offensichtlich, daß der erhaltene Schätzwert von 6120 Rohren/ha die wirklichen Verhältnisse weit unterrepräsentierte. Eine gutachtliche Schätzung durch verschiedene Personen hatte Werte zwischen 40.000 und 80.000 Rohren/ha ergeben. Daraus wurde geschlossen, daß auch im Falle der Chusquea-Population bei den endgültigen Aufnahmen zu einem Verfahren mit Abständen höherer Ordnung in Sektoren übergegangen werden müßte; in der Tat zeigt Chusquea die charakteristische Bultenbildung vieler Gramineen, d.h. die Rohre treten überwiegend in "Sträußen" auf. Diese Klumpungstendenz schließt - ähnlich wie im Falle der Verjüngung - die Anwendung von Abstandsmessungen niedriger Ordnung aus.

1.3 Qualitätsansprache als ergänzende Information in Verjüngungen des vorgefundenen Typs

Bei Durchführung der geschilderten Vorstudie wurde die Problematik offenbar, aus der Individuenzahl an etablierten Pflanzen pro ha Prognosen für die Zukunft der Baumverjüngung abzuleiten. Im Gegensatz zu fortgeschritteneren Entwicklungsstadien, wie Dickungs- oder Gertenholzalter, können Populationsdichte und Verteilung in Verjüngungen des vorgefundenen Typs nicht ausreichen zu Voraussagen des zukünftigen Werdeganges. Ungleichaltrigkeit und wechselnde Konkurrenzbedingungen, denen die Pflanzen über relativ lange Zeiträume hinweg ausgesetzt sind, führen zu einer so starken Differenzierung des Entwicklungsstandes, daß mit dem unscharfen Begriff der "etablierten Pflanze" sinnvoll nicht gearbeitet werden kann. Versteht man unter "etabliert" nur diejenige Pflanze, die sich bereits aus der Klammer

des 5 m hohen Bambusdickichts befreit hat , so können je nach Zeitpunkt der "Momentaufnahme", die eine Verjüngungsinventur darstellt, für ein und dieselbe Population durchaus realistische oder aber höchst pessimistische Prognosen abgeleitet werden.

Bezeichnet man hingegen diejenigen Pflanzen als etabliert, die gesichert aus dem Keimlingsstadium heraus und damit "angewachsen" sind, so fallen - neben allen Abgrenzungsschwierigkeiten, die sich hier ergeben - die Prognosen natürlich zu optimistisch aus, weil die Auseinandersetzung mit der Konkurrenzvegetation mit all ihren örtlich schwankenden Unwägbarkeiten für viele Pflanzen noch gar nicht entschieden ist.

Angesichts dieser Problematik wurde eine Staffelung der Individuen nach Zukunftschancen ins Auge gefaßt, die einerseits die ökologische Situation einigermaßen widerspiegeln, andererseits aber so praktikabel bleiben sollte, daß sie sich ohne größeren Mehraufwand dem Aufnahmeverfahren hinzufügen ließ.

Als Maßstab wurden die folgenden okular einschätzbaren Kriterien im Anhalt an die aktuell herrschende Konkurrenzsituation gewählt:

- | | |
|----------------|------------------|
| 1) Höhenklasse | 1 = 0,05 - 0,5 m |
| | 2 = 0,5 - 2,0 m |
| | 3 = 2,0 m |
| 2) Belaubung | S = schlecht |
| | M = mittelmäßig |
| | G = gut |
| 3) Schaftform | s = schlecht |
| | m = mittelmäßig |
| | g = gut |

Bei der Schaftform wurde vor allem das Verhältnis zwischen Durchmesser und Höhe begutachtet. Pflanzen, deren Höhenentwicklung der Durchmesserentwicklung weit voraus geeilt war, wurden als besonders gefährdet während der Winterperiode angesehen. Während der ungeheuren winterlichen Regengüsse und erst recht bei Naßschnee legen sich häufig ganze Gruppen von Bambusrohren unter dem Gewicht des Niederschlags um und belasten die darunter befindlichen Baumpflanzen schwer. Nur kräftige, gedrungene Individuen haben Überlebenschancen.

Eine sinnvolle Durchführung derartiger Qualitätsstudien ist natürlich nur dann möglich, wenn subjektive Fehlurteile auf ein Minimum reduziert werden. Es wurde daher die Ansprache von Verjüngungspflanzen mit allen an den Aufnahmen beteiligten Personen so lange eingeübt, bis ein Höchstmaß an Übereinstimmung hergestellt war. Selbstverständlich wurden nicht alle Individuen innerhalb der Probekreise in der geschilderten Art qualifiziert, sondern immer nur die vitalste Pflanze der jeweils interessierenden Baumart(en). Ähnlich wie im Verfahren der bestockten Quadrate (s. Abschnitt 1.11) wurde also willkürlich angenommen, daß eine allerdings sehr differenziert als "aussichtsreich" eingestufte Pflanze im 5 m²-Plot genug sei, was sicherlich nicht zu optimistisch ist. Allerdings ist dieses Verhältnis von Zukunfts-pflanze zu Plotfläche biologisch-ertragskundlich ohne jeden Aussagewert, d.h. es ist nicht möglich, durch das dargestellte Verfahren herauszufinden, ob die Population über genügend Zukunftsplanzen verfügt, die außerdem noch entsprechend ihren entwicklungsspezifischen Standraumanprüchen optimal verteilt sind. Diese Information hätte - unter bestimmten Bedingungen, die noch zu diskutieren sind - das Verfahren des Nullflächendiagramms von COX liefern können, das leider erst später gefunden und veröffentlicht wurde.

Ein etwas schwerfälliger Behelf liegt in der nachträglichen Kontrolle der Aufnahmeformulare, die ja die Nummern der Probekreise und damit, bei systematischen Stichproben, auch deren Lage wiedergeben. Sind die Probeflächen mit Zukunfts-bäumen häufig und außerdem noch gleichmäßig über das Stichprobenraster verteilt, kann auf zufriedenstellende Verteilungsstruktur geschlossen werden. Sind solche Probeflächen selten, aber gleichmäßig verteilt, so wird der qualitäts-fördernde Schluß im Jugendalter fehlen, während sich eine optimale Standraumausnutzung erst in höherem Alter einpendelt.

Tab. 10 gibt die Ergebnisse der Qualitätsansprache im Rahmen der Vorstudie an. Von den 400 Probekreisen enthielten 84 eine oder mehrere Raulipflanzen. Eingeschätzt nach der jeweils vitalsten Pflanze konnten 25 plots der Höhenklasse 1, 24 plots der Höhenklasse 2 und 35 plots der Klasse 3 zugeordnet werden. Als aussichtsreich wurden in Klasse 1 diejenigen Pflanzen bezeichnet, die der Qualitätsstufe 3/G/g, 3/G/m, 3/M/g und 3/M/m angehörten = 14 Stück.

An die Individuen der Klasse 2 wurden höhere Anforderungen gestellt, weil diese Pflanzen sich aus der Konkurrenzklammer von Chusquea noch nicht befreit hatten. Hier kamen nur die Qualitätsstufen 2/G/g und 2/G/m in Frage, von denen 50 % als zukunftsstüchtig eingestuft wurden = 6 Stück. Die Klasse 1 bleibt vorerst wegen der Unsicherheit jeder Voraussage unberücksichtigt.

20 Zukunftsstämmchen waren also bei einem Flächenaufnahmeprozentsatz von 20 angefallen, was einem Schätzwert von 100 Stck./ha entspricht. Das sind 7 % der Gesamtzahl aller Individuen.

Angesichts der Reserven, die bei dieser vorsichtigen Schätzung noch unausgeschöpft blieben (z.B. Qualitätsstufe 1/B/b), kann als ein erster Anhaltswert gelten, daß sich unter den herrschenden Bedingungen ca. 10 % der Raulíverjüngung gegen die Konkurrenzvegetation durchsetzen können. Im Falle der Vorstudie war diese geringe Zahl an zukunftsstüchtigen Raulí-Bäumen obendrein noch sehr ungleichmäßig verteilt, so daß für eine gute Standortverteilung selbst im fernen Erntealter keine Aussicht besteht.

Zur Illustration des Klassifizierungsprozesses werden in Abb. 20 a-c drei Vergleichspaare von Raulí- bzw. Coigüepflanzen, gezeichnet nach fotografischen Vorlagen, gezeigt. Der Fluchtstab mit seiner hell-dunklen Bänderung im 50 cm-Abstand gibt dabei die Höhenklasse an.

Qualitäts- stufe	Zahl der Probekreise	Qualitäts- stufe	Zahl der Probekr.	Qualitäts- stufe	Zahl der Probekr.
<u>3/G/g</u>	10	<u>2/G/g</u>	11	<u>1/G/g</u>	18
<u>3/G/m</u>	1	<u>2/G/m</u>	1	<u>1/G/m</u>	0
<u>3/G/s</u>	0	<u>2/G/s</u>	2	<u>1/G/s</u>	1
<u>3/M/g</u>	0	<u>2/M/g</u>	0	<u>1/M/g</u>	4
<u>3/M/m</u>	3	<u>2/M/m</u>	3	<u>1/M/m</u>	5
<u>3/M/s</u>	5	<u>2/M/s</u>	1	<u>1/M/s</u>	3
<u>3/S/g</u>	0	<u>2/S/g</u>	0	<u>1/S/g</u>	0
<u>3/S/m</u>	0	<u>2/S/m</u>	0	<u>1/S/m</u>	0
<u>3/S/s</u>	6	<u>2/S/s</u>	6	<u>1/S/s</u>	4
Klasse 3 = 25		Klasse 2 = 24		Klasse 1 = 35	

Tabelle 10 Ergebnisse einer Qualitätseinschätzung von Rauli-
Pflanzen im Rahmen der methodischen Vorstudie

Das Vergleichspaar a) zeigt zwei Coigüe-Exemplare, die höhenklassenmäßig unterschiedlich eingestuft wurden (linkes Individuum Klasse 2, rechtes Individuum Klasse 3). Die "Aufstiegsschancen" sind jedoch für das Individuum der Klasse 2 sicher nicht schlechter, weil es durch eine große und gesunde Blattfläche sowie seine gedrungene Schaftform ein hohes Durchsetzungsvermögen hat. Es erzielte die Qualifikation 2/G/g und wäre damit einer der "Aufstiegsfälle" der Klasse 2. Dem Individuum der Klasse 3 sieht man an der Schaftform den schweren Konkurrenzkampf an, den es durchgemacht hat. Die Blattfläche ist verhältnismäßig gering, aber dabei, sich zu regenerieren.

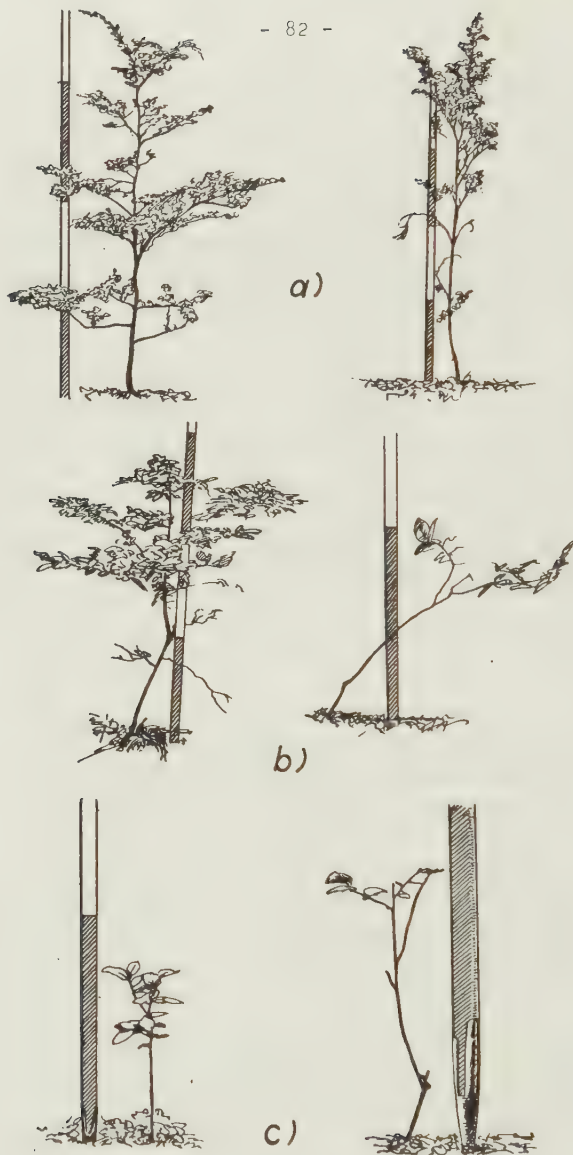


Abb. 20 Beispiele von vorgefundenen Verjüngungspflanzen zur Illustration des Verfahrens zur Qualitätsansprache

In Gebieten starken Naßschneefalles würde die Pflanze über die schlechte Schaftform eventuell auszuscheiden sein, während sie unter günstigeren Klimabedingungen noch als 3, M, m, also aussichtsreich eingestuft wurde.

Das Vergleichspaar b) zeigt 2 Raulí-Pflanzen der Höhenklasse 2, die mit 2/G/g (links) und 2/S/s (rechts) zu qualifizieren wären. Das linke Individuum hat also "Aufstiegschancen", das rechte nicht.

Im Vergleichspaar c) werden zwei Raulí-Pflanzen der Höhenklasse 1 gezeigt. Beide bleiben wegen ihrer geringen Höhenklasse vereinbarungsgemäß unberücksichtigt. Es soll aber demonstriert werden, daß auch in dieser Klasse (siehe linke Pflanze) noch gewisse Reserven liegen, die zumindest bei Intensivaufnahmen waldbaulich-wissenschaftlicher Orientierung festgehalten werden sollten.

1.4 Verfahrensvergleiche auf größerer Fläche und unter wechselnden Populationsbedingungen

Im Abschnitt 1.4 wurde die Anpassung der geeignet erscheinenden Verfahren an die Situation in den Verjüngungsflächen vorgenommen. Auf der Grundlage der dort gesammelten Erfahrungen erfolgte nun der 2. Schritt, nämlich die Ausdehnung der Studie auf größere Fläche unter Einbeziehung anderer Altersphasen. Im Vordergrund des Interesses standen nunmehr neben einer möglichst fehlerarmen Dichteschätzung auch die aufnahmetechnischen Vor- und Nachteile der angewandten Verfahren.

1.41 Aufnahmeflächen

1.411 Exploitationsgebiet Trafun

Unmittelbar im Anschluß an die Aufnahmefläche der Vorstudie wurde eine 4 ha große quadratische Aufnahmefläche abgegrenzt. Prinzipiell herrschte in dieser Fläche die

gleiche Situation, d.h. sie hatte bei ursprünglich gleicher Baumartenzusammensetzung zur gleichen Zeit das gleiche Schicksal erlitten und war nun exploitationsbedingt in ein ausgedehntes Rohrdickicht umgewandelt worden, das seinen forstlichen Charakter verloren zu haben schien. In dieser Fläche wurden für das Abstandsverfahren 160 Punkte mit Hilfe eines Koordinatennetzes von 5 m Maschenweite zufallsverteilt. Für die Probekreisaufnahme wurde eine systematische Stichprobe nach dem im Abschnitt 1.231 beschriebenen Verfahren mit 800 Probekreisen an 5 m^2 (= Flächenaufnahmeprozent von 10) ins Auge gefaßt. Abb. 21 zeigt die Verteilung der Meßpunkte bzw. Probekreiszentren über die Aufnahmefläche.

1.412 Exploitationsgebiet Arquilhue.

Bei den bisher erwähnten Verjüngungsflächen handelte es sich um nicht ganz gleichaltrige Populationen, die überwiegend der frühen Jungwuchsphase angehörten. Diese Altersphase stellt zweifellos den schwierigsten Fall für Inventuren dar, weil angesichts der Klumpungen einerseits und Fehlstellen andererseits von einer Aufteilung der Bestandesfläche in ein Standraummosaik noch keine Rede sein kann. Der durchschnittliche Standraum der Einzelpflanze als Reziprok der Dichte ist somit eine rein rechnerische und keine ökologische oder ertragskundliche Größe.

Günstiger wird die Situation im Dickungs- und Gertenholzalter. Diese Verjüngungsphase präsentierte sich in dem südlich von TRAFUN gelegenen Exploitationsgebiet ARQUILHUE am Südostabfall des Vulkans Choshuenco ($40^{\circ} 5' \text{ S}$, $71^{\circ} 55' \text{ S}$) auf 800 - 850 m Meereshöhe. Die Fragestellung für diesen Verjüngungstyp, der sich bei gleicher Baumartenzusammensetzung lediglich im Entwicklungsgrad vom vorgenannten unterschied, war, inwieweit diese etwas homogenen Populationen bei gleichen Anforderungen an die Standardfehler der Schätzwerte (20 %) Vereinfachungen im

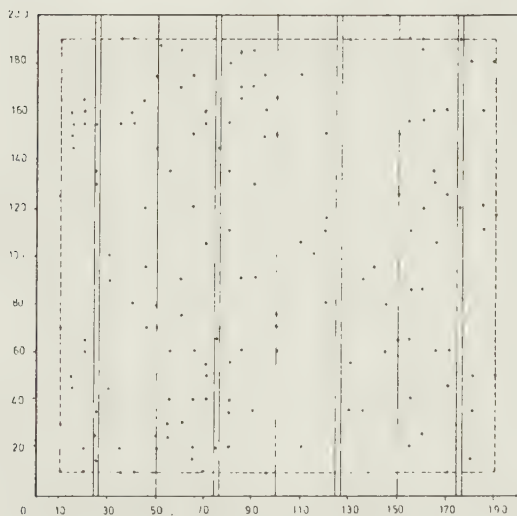
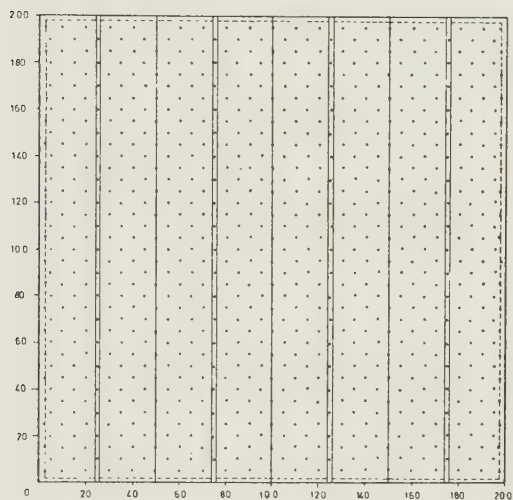


Abb. 21 Verteilung von 800 Probekreisen (oben) und 160 Meßpunkten (unten) über die Aufnahme-
fläche von 4 ha im Exploitationsgebiet TRAFUN

Aufnahmeverfahren zuließen. Zu diesem Zweck wurden 2 totalexploitierte Flächen von je 1 ha Größe abgegrenzt. Für die Abstandsverfahren wurden 40 Punkte diesmal systematisch über die Fläche verteilt, unter Wahrung einer angemessenen Randzone. Das Probekreisverfahren wurde wie in Abb. 15 c durchgeführt, diesmal jedoch mit 200 systematisch verteilten Plots à 5 m² (= Flächenaufnahmeprozent von 10)

1.42 Ergebnisse

Die Ergebnisse für Trafun und Arquilhue werden wegen der unterschiedlichen Fragestellung getrennt aufgeführt und diskutiert.

1.421 Resultate TRAFUN

Probeflächenverfahren:

Tab. 11 zeigt die Ergebnisse der Dichteschätzung auf Probekreisbasis. Es zeigt sich, daß mit größerem Stichprobenumfang die Standardfehler für Raulí und Coigüe stark verringert werden konnten.

Für Coigüe kommt hinzu, daß die Populationsdichte insgesamt auf einem höheren Niveau lag, als bei der Vorstudie, so daß erstmals akzeptable Schätz- und Fehlerwerte möglich wurden. Dennoch liegt der Fehler mehr als doppelt so hoch wie bei Raulí, was schon einen ersten Hinweis auf stärkere Klumpung gibt.

Baumart	Individuenzahl/ha	Standardfehler	S %
Raulí	4.736	± 418	8,2
Coigüe	3.674	± 651	17,7

Tab. 11 Dichteschätzung von Raulí- und Coigüepflanzen in einer Mischverjüngung (TRAFUN) bei Anwendung eines Probekreisverfahrens mit Flächenaufnahmeprozent von 10.

Was die Verteilungsstruktur der beiden Nothofaguspopulationen anging, so wurden als erstes die Klumpungsindices

$q = \frac{s^2}{m}$ errechnet. Sie betrugen für
 Raulí $q = 16,15$
 Coigüe $q = 50,49$

Bei Verwendung gleicher Probeflächengröße war die Klumpung der Raulí-Population also viel markanter, als in der gleichalten Vorstudienfläche ($q \approx 8$). Die Coigüe-Population weist allerdings einen q -Wert auf, der noch um das 3fache höher liegt. Abb. 22 zeigt der besseren Anschaulichkeit halber einen Ausschnitt aus einem Populationsmodell von COTTAM, CURTIS und CATANA, der den Klumpungsindex $q = 50$ aufweist, ohne daß damit gesagt werden soll, daß die vorgefundene Coigüe-Population genau das gleiche Bild ergeben muß.¹⁾

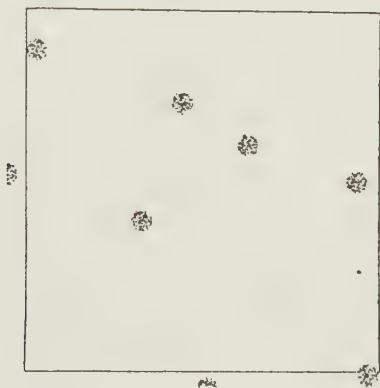


Abb. 22 Modellpopulation mit einem Klumpungsindex $q = 50$ aus COTTAM, CURTIS und CATANA, 1957

1) Da das Phänomen der Aggregation von verschiedenen Faktoren wie Größe, Zahl, Verteilung und Kompaktheitsgrad der Klumpen sowie der Dichte innerhalb und außerhalb von ihnen abhängt, können verschiedene Verteilungsformen den gleichen q -Wert haben.

Da starke Abweichung von der Poissonverteilung offensichtlich war, wurde anschließend die Möglichkeit des Ausgleichs durch die negative Binomialverteilung geprüft. Abb. 23 zeigt die beobachteten und erwarteten Frequenzkurven im grafischen Vergleich. Die angegebenen P-Werte geben den Grad der Zufallswahrscheinlichkeit für die gefundenen Unterschiede an. Die Unterschiede sind nicht signifikant, wenn auch größer als im Fall der Vorstudie, so daß der Ausgleich etwas weniger befriedigt.

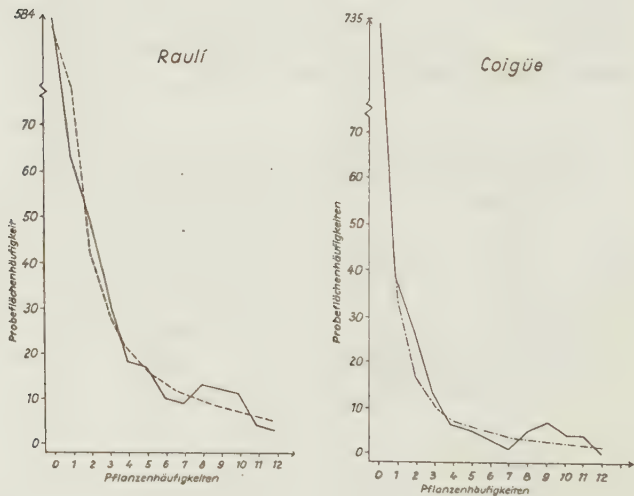


Abb. 23 Kurven der Plotfrequenzen mit 1,2,..., n Individuen nach Aufnahmeergebnissen (durchgezogene Linie) und Erwartungswerten bei Unterstellung einer negativen Binomialverteilung (unterbrochene Linie) in einer 4 ha großen Aufnahmefläche mit N. alpina- und N. dombeyi-Verjüngung (TRAFUN)

Abstandsverfahren:

Aufgrund der Erfahrungen aus der Vorstudie wurde zur Ermittlung der Populationsdichte der Rauliverjüngung nur noch das Verfahren von MORISITA mit $K=2$ und $n=6$ angewandt.¹⁾ Der hohe Klumpungsindex dieser Population warf dabei die Frage auf, ob unter solchen Bedingungen immer noch das Mittel aus den Maßzahlen d_1 und d_2 den besten Schätzwert liefert.

Tabelle 12 zeigt die erhaltenen Schätzungen und im Vergleich dazu den Bezugswert aus der Probekreis-aufnahme.

Maßzahl	Individuen- zahl pro ha	Standard- fehler	S %	Bezugswert Probekreisverf.
d_1	6554	961	14,7	4736 $\pm$ 418
d_2	4882	1141	23,7	

Tab. 12 Ergebnisse des Abstandsverfahrens nach MORISITA unter Berücksichtigung des 6. Abstandes in 2 Sektoren in einer Verjüngungsfläche von Raulí, Exploitationsgebiet TRAFUN.

Es zeigt sich, daß der Stichprobenumfang mit jeweils 2 Messungen von 160 Punkten knapp ausreichend war, um den Repräsentationsfehler im gewünschten Rahmen zu halten. Auf das Auseinanderklaffen der Werte für d_1 und d_2 hat die Zahl der Messungen offenbar keinen Einfluß. Hier ist die Verteilung ausschlaggebend. Der Wert für d_2 liegt - wenn auch mit weitem Fehlerrahmen - ganz nahe am Bezugswert, während sich d_1 (signifikant) von ihm unterscheidet. Bei dem vorliegenden Klumpungsgrad scheint also die Formel für d_2 die bessere Schätzung zu gewährleisten, was in guter Übereinstimmung mit der COX'schen "robustness"-Studie steht. Verlängert man

1) Für parallellaufende rein methodische Studien wurde im gleichen Durchgang auch der Abstand zur 1. Raulipflanze mit erhoben und außerdem die Baumart derjenigen Pflanze registriert, die jeweils als nächste, vom Meßpunkt aus gesehen, in Erscheinung trat.

nämlich in Abb. 10 die der MORISITA'schen Maßzahlen entsprechenden Linien $HQ (HQ_3)$ und $HQ (A_3)^{1)}$ über den Klumpungsindex von 8 hinaus bis auf 16, so nähert sich $HQ (A_3)$ bis auf nächste Nähe dem wirklichen Dichtewert, während sich $HQ (HQ_3)$ immer weiter von ihm entfernt in Richtung zunehmender Überschätzung.

Was die Quantifizierung der Konkurrenzvegetation von Bambus anbetraf, so wurde im Gegensatz zur Vorstudie diesmal auch mit Abständen höherer Ordnung gearbeitet, um der Klumpungstendenz Rechnung zu tragen. Angesichts der enorm hohen Rohrdichte wurden die 3. Abstände in 2 Sektoren für ausreichend erachtet. Das Ergebnis zeigt Tabelle 13.

Maßzahl	Rohre/ha	Standardfehler	S %
d_1	91.639	9.306	10.1
d_2	80.664	7.895	9.8

Tabelle 13 Ergebnisse der Dichteschätzung für die Konkurrenzvegetation von Chusquea coleu in einer Verjüngungsfläche im TRAFUN unter Verwendung des Abstandsverfahrens nach MORISITA mit $K = 2$ und $n = 3$.

1) Allerdings wendete COX im zitierten Fall das MORISITA-verfahren mit $K=4$ und $n=3$ an. Diese Variante hatte in unserer Vorstudie weiter auseinanderklaffende Werte für d_1 und d_2 gegeben, als die Variante $K=2$, $n=6$. Es muß offen bleiben, ob durch diesen Sachverhalt die Parallele zur COX'schen Grafik leidet.

Bezugswerte bestehen nicht,¹⁾ es kann also Endgültiges nur über den Repräsentationsfehler ausgesagt werden, der mit 10 % ziemlich niedrig liegt. Auch die Werte für d_1 und d_2 klaffen nur wenig auseinander ($\approx 10\%$), was darauf schließen läßt, daß das Verfahren gut an den Verteilungstyp angepaßt ist. Das läßt den Schluß zu, daß die wahre Größenordnung der Rohrdichte pro Flächeneinheit zutreffend durch diese Verfahrensvariante gekennzeichnet wird.

Zukunftsprognose

Die Qualitätsansprache nach dem in 1.5 geschilderten Verfahren brachte 323 zukunftstüchtige Raulí-Stämme pro ha, was ebenso, wie in der Vorstudie rd. 7 %, bei einem absoluten Vergleich aber mehr als das dreifache ausmacht. Diese Zahl an Baumindividuen, die die Jugendgefahren hinter sich haben, erscheint ausreichend für den Endbestand, selbst bei Unterstellung von gewissen Abgängen durch intraspezifische Konkurrenz

Unter hiesigen Verhältnissen würden solche Individuenzahlen im Gertenholzalter dagegen als viel zu gering erachtet werden. Unserer mitteleuropäischen Situation gegenüber unterscheidet sich die in dieser Arbeit beschriebene jedoch in zweifacher Hinsicht:

Einerseits ist die Wuchsleistung von N. alpina- und N. dombeyi-Beständen im südchilenischen Klimabereich bedeutend höher, als z.B. diejenige auch der leistungsstärksten Buchenbestände unserer Breiten. Sieht man von den trockeneren Standorten im Norden ihres Verbreitungsgebietes ab, so ist die Jugendentwicklung von Raulí-Beständen im Freistand eher mit derjenigen hie-

1) Ein Probekreisverfahren zur Dichteermittlung der straußförmig auftretenden Chusquea-Population ist in vertretbaren Aufwandsgrenzen nicht durchführbar. Soll die Stichprobe frei von systematischen sowie Zählfehlern sein, müßten sehr kleine Probenflächen in großer Vielzahl ausgelegt werden, was die Möglichkeiten dieser Studie überstieg.

siger Pappelbestände zu vergleichen, wie aus Zuwachsstudien von WADSWORTH, 1971, hervorgeht. Damit ist eine wesentlich schnellere Ausweitung des Standraumbedarfs verbunden, als wir sie bei unseren Walddlaubäumen kennen. Selbst bei geringer Ausgangsstammzahl kommt es daher schon relativ frühzeitig zur gewünschten qualitätsfördernden Interaktion der Bestandesglieder untereinander.

Im übrigen ist die Wuchsform des Raulí an sich schon weniger korrekturbedürftig, als wir es von unseren Laubbaumarten gewöhnt sind. Auch hier drängt sich der Vergleich mit der Pappel auf.

Andererseits gilt für die Zukunft, daß das Gros der chilenischen Naturwaldflächen notgedrungen nur extrem extensiv bewirtschaftet werden dürfte. Angesichts des fast durchweg schlechten Waldzustandes, den die Exploitationsmaßnahmen auf riesiger Fläche hinterließen, muß man sich daher schon zufrieden geben, wenn eine Baumverjüngung nach Zahl und Qualität überhaupt eine Folgegeneration von Wald garantieren kann, der einen gewissen Nutzungswert verspricht.

Zu ganz ähnlichen Vorstellungen über die zu fordernden Stammzahlen kommt LOETSCH, 1973, im Tropenwald, wo er bei Jungwuchspopulationen der Gattung *Tetraberlinia* in Liberia eine Besatzdichte von 300 etablierten Pflanzen pro ha als "optimal" bezeichnet. Dabei handelt es sich - ebenso, wie bei den hier beschriebenen *Nothofagus*-verjüngungen - um Mischbestände, in denen andere, wirtschaftlich uninteressantere Baumarten gleichwohl am zukünftigen Bestandesgefüge beteiligt sein werden.

In unserem Falle kann über den Konkurrenzwettkampf des Raulí mit der beigemischten Baumart *Coigüe* bisher kaum etwas ausgesagt werden, weil die Aufnahme ein zu frühes Entwicklungsstadium repräsentiert. Sicher ist, daß der *Coigüe* auf lange Sicht mithelfen wird, größere Fehlstellen auszufüllen; ob er dabei die Überhand gewinnen wird, ist ungewiß.

Die Verteilung der 323 Zukunftsstämmchen von Raulí pro ha ist nach den Aufnahmeprotokollen ziemlich heterogen, das heißt, es muß im aktuellen Stadium mit großen Fehlstellen gerechnet werden, die erst später nach und nach von beiden Baumarten im Verein durch entwicklungsgegingte Ausweitung der Standräume zurückgedrängt werden können. Das wird nicht ohne negative Einflüsse auf Form- und Qualitätsmerkmale im Nutzungsalter bleiben.

1.422 Resultate Arquihue

Tabelle 14 gibt die Dichteschätzungen für die Baumart Raulí in zwei Mischverjüngungen der Gertenholzphase sowie die q-Werte als Maß der Klumpungstendenz an, entsprechend den Ergebnissen einer Probekreisaufnahme mit einem Flächenaufnahmeprozent von 10.

Population	q-Wert	Individuenzahl/ha		S %
1	2	1418 $\pm$	140	9.3
2	3	1519 $\pm$	219	13.7

Tab. 14 Populationsdichte und Klumpungsindices in zwei Raulí-Verjüngungen fortgeschrittenen Entwicklungsgrades in ARQUILHUE, aufgenommen mit der Probekreismethode.

Es fällt in beiden Populationen der verhältnismäßig geringe Klumpungsgrad auf, der nur einen Bruchteil der in TRAFUN festgestellten Werte erreicht; höheres Standraumbedürfnis mit den sich daraus ergebenden Selektionsprozessen haben eine Entwicklung in Richtung auf die Poissonverteilung eingeleitet, wodurch die stichprobenweise Datenerhebung sehr erleichtert wurde.

Entsprechend konnte bei der Anwendung des Abstandsverfahrens von vornherein der 3. Abstand in 2 Sektoren gewählt werden, statt eines Abstandes höherer Ordnung, was eine Anzahl von 80 Messungen pro ha gewährleistete.

Versuchsweise wurde daneben auch das PRODAN'sche Verfahren der 6-Baum-Stichprobe von den 40 systematisch verteilten Punkten aus angewendet, wobei einmal die Ergebnisse mit Hilfe der Maßzahl von MORISITA, ein anderes Mal mit der PRODAN'schen Formel errechnet wurden (s. Tab. 15).

Probe- kreis- verf.	S %	MORISITA K=2,n=3	S %	MORISITA k=1,n=6	S %	PRODAN'sche 6-Baum-Stich- probe	S %
1418	9,3	d ₁ = 1747 d ₂ = 1425 $\frac{d_1+d_2}{2}=1588$	18,5	d _{1,2} =1723	23,4	N/ha= 2091	27,2
1519	13,7	d ₁ = 2187 d ₂ = 1891 $\frac{d_1+d_2}{2}=2039$	19,5	d _{1,2} =2184	24,1	N/ha= 2346	21,7

Tab. 15 Ergebnis der Dichteschätzung mit Hilfe dreier Varianten von Abstandsverfahren in 2 Rauli-Verjüngungen der Gertenholzphase

Ein exakter Vergleich kann wegen der breiten Fehler-
rahmen der letzten beiden Verfahren, denen ja jeweils
nur 40 Messungen zugrunde liegen, nicht angestellt
werden. Bemerkenswert ist, daß das Morisitaverfahren
mit k=2, n=3 in beiden Fällen den Ergebnissen der Probe-
flächenaufnahme am nächsten kommt. Es fällt auf, daß
bei weniger geklumpfter Verteilung auch die Werte von
d₁ und d₂ viel weniger auseinanderklaffen. Das Fehler-
prozent liegt im gewünschten Rahmen, so daß diese Vari-
ante abschließend als brauchbar für den vorliegenden
Verjüngungstyp bezeichnet werden kann.

Wendet man die anderen beiden Abstandsverfahren von ebenfalls 40 Punkten aus an, liegen die entsprechenden Repräsentationsfehler zu hoch. Legt man die gleiche Zahl von Messungen zugrunde, wie in der vorgenannten MORISITA-Variante (= 80), wird der Meßaufwand bedeutend höher, weil jeweils der 6. statt der 3. Baum identifiziert und aufgesucht werden muß. Im übrigen scheint besonders das PRODAN'sche Verfahren in den untersuchten Populationen zu einer leichten Überschätzung der Dichte zu führen, was angesichts der hohen Fehlerprozentage allerdings nicht einwandfrei nachgewiesen werden kann.

1.423 Erfahrungen mit Meßfehlern in Abhängigkeit vom gewählten Abstand

Bei Durchführung der Abstandsverfahren wurde deutlich, daß unter den schwierigen Bedingungen in den Verjüngungsflächen die Chance, Aufnahmefehler zu begehen, offenbar sehr hoch liegt. Um eine Vorstellung vom Ausmaß dieser Fehler zu bekommen, wurde im Untersuchungsgebiet ARQUILHUE eine kleine Fehlerstudie durchgeführt, in dem an jedem 5. Meßpunkt Wiederholungsmessungen vorgenommen wurden. Es stellte sich heraus, daß die Abweichungen zwischen 1. und 2. Messung sehr unterschiedlich waren, je nachdem, ob die Variante $k=2$, $n=3$ oder $k=1$, $n=6$ benutzt wurde. Im 1. Fall, also bei Benutzung der Abstände zum 3. Individuum in 2 Sektoren, wich das Ergebnis des Kontrolldurchgangs um 10,8 % vom 1. Durchgang ab, während bei Messung des 6. Abstandes in einem Sektor der Unterschied 38,9 % betrug. Eine starke Komponente innerhalb des Aufnahmefehlers ist zweifellos die falsche Identifizierung eines Individuums als nächstes, die bei $n=6$ viel häufiger vorkommt als bei $n=3$, besonders in unübersichtlichen Populationen. Hinzu kommt der leichte Zick-Zack-Verlauf des Bandmaßes, der im Rohrdickicht um so unvermeidlicher wird, je weiter die zu messende Pflanze vom Ausgangspunkt entfernt

steht. Diese beiden Komponenten führen vermutlich zu einer Überschätzung der mittleren Entfernungen $\bar{r}_n$ und damit zu einer Unterschätzung der Populationsdichte, denn eher hält man den 7. Baum irrtümlich für den 6., als daß man den 5. dafür nimmt. Ebenso führen Umwege des Meßbandes zu irrtümlich größeren Messungen. Andere Komponenten, wie Ablesefehler, werden bei großen Stichprobenumfängen eher dazu neigen, sich zu kompensieren. Insgesamt gesehen muß die festgestellte hohe Fehleranfälligkeit bei Benutzung von Abständen höherer Ordnung als ein wesentlicher Nachteil der Abstandsmethoden gegenüber einem Probeflächenverfahren genannt werden.

1.43 Abschließende Beurteilung der erprobten Verfahren und Empfehlungen für ihren Anwendungsbereich.

Im Verlauf der Methodenstudie hat sich das Probekreisverfahren in vieler Hinsicht bewährt. Wählt man hinreichend kleine Kreise - was sich auch aus methodischen Überlegungen empfiehlt - so macht die Auszählung der Individuen getrennt nach Baumarten nur wenig Schwierigkeiten, und Zählfehler spielen nur eine sehr geringe Rolle. Neben verschiedenen Baumarten kann in der Probefläche auch leicht eine Qualitätsabstufung vorgenommen werden, und zwar ohne, daß dies auf Kosten anderer Informationen ginge. Die Analyse der Verteilungsstruktur ist absolut gesehen wegen ihrer Abhängigkeit von der Probeflächengröße nicht sehr vertrauenswürdig. Relativ betrachtet, d.h. bei Vergleich von Populationen der gleichen Baumart und Altersphase mit Hilfe von Probekreisaufnahmen gleichen Typs, tritt dieser Nachteil zurück. Bessere Methoden zur Verteilungsanalyse gibt es nur im Bereich der kombinierten Verfahren, die ohne Dichteermittlung mit Hilfe von Probekreisen auch nicht auskommen. Die Rechenoperationen, schließlich, sind für die Probeflächendaten sehr viel einfacher, als für die verwendeten Abstandsverfahren nach MORISITA.

Seine Grenze findet das Probekreisverfahren in Populationen sehr hoher Individuendichte, wie z.B. der Konkurrenzart *Chusquea coleu*. Hier führen Zähl- und Abgrenzungsschwierigkeiten der Plotfläche zu großen Problemen. Im Gegensatz dazu führen Abstandsverfahren zur Grenze ihrer Anwendbarkeit bei extrem geringer Populationsdichte. Mit höherer Dichte werden sie zunehmend besser anwendbar. Die Anfälligkeit gegenüber geklumpten Verteilungen läßt sich theoretisch ausräumen durch Messung von Abständen höherer Ordnung in mehreren Sektoren: Praktisch zieht das eine starke Erhöhung des Meßaufwandes und den Einfluß bedeutsamer Aufnahmefehler nach sich, die umso höher liegen, je größer die Ordnungszahl des Abstandes und/oder die Seltenheit der Individuen ist. Die Durchführung bei schlechter Begehrbarkeit der Aufnahmeflächen ist dann extrem mühselig.

Als Methode zur Verteilungsanalyse bietet sich in Mischbeständen an, das Verfahren von BRAY zu verwenden, das nur einen sehr unwesentlichen Mehraufwand erfordert. Allerdings sind die Informationen, die sich daraus ableiten lassen, recht beschränkt und denjenigen, die der Klumpungsindex q vermittelt, wohl kaum überlegen.

Will man genaue Informationen über mehrere Baumarten oder verschiedene Qualitätsstufen innerhalb von Mischverjüngungen haben, werden die Abstandsverfahren vollends unpraktikabel, während sie in Reinbeständen vom Gertenholzalter an oder aber in der beschriebenen *Chusquea*-Population gute Dienste leisten können.

Als kombiniertes Verfahren kommt allenfalls ein Probenflächenverfahren als Basismethode, ergänzt durch Messung weniger Abstände niederer Ordnung, in Frage, wie etwa das Aufnahmeverfahren zur Nullflächendiagnose nach COX. Allerdings gewährt dieses Verfahren nicht in allen Fällen zufriedenstellende Einblicke in die Wuchsdynamik von Verjüngungen.

In der Jungwuchsphase von Naturverjüngungen mit ihrer meist sehr ausgeprägten entwicklungsmäßigen Differenzierung ist bereits die Festlegung dessen, was als "etabliert" zu gelten hat, und die Vernachlässigung aller übrigen Individuen höchst problematisch.

Hinzu kommen die Schwierigkeiten in Mischverjüngungen, in denen es mit der Kenntnis von Dichte und Verteilung der interessantesten Baumart allein noch nicht getan ist.

Hier könnten theoretisch nur mehrere Nullflächendiagramme, eines für die Hauptbaumart, ein weiteres für die beigemischten Arten und ein drittes für die Gesamtheit aller Arten, die Voraussetzungen für eine fundierte Prognose der Bestandesentwicklung schaffen.

Bestandes- und Verjüngungsanalysen verschiedener
Nothofagus alpina-Vorkommen im Gesamtbereich seines
natürlichen Areals

Problemstellung und Auswahl der Untersuchungsflächen

Mit Hilfe der im Abschnitt 1 entwickelten Aufnahme-
methodik galt es dann, in einem zweiten Schritt -
entsprechend der Problemstellung dieser Arbeit -
Einblicke in den Entwicklungsprozeß von *Nothofagus*-
verjüngungen zu erhalten. Dabei waren die verschie-
densten Ausgangssituationen zu berücksichtigen:

Einmal galt es zu differenzieren nach dem Grad der
Veränderungen, die die jeweiligen Altbestände über-
wiegend durch menschlichen Einfluß erlitten hatten.
Hier bot sich eine erste Unterteilung in drei Stufen
an:

- a) Intakte Primärwälder, wobei mit "intakt" lediglich
gesagt werden soll, daß die Bestände frei von
menschlichen Einflüssen waren, ohne Rücksicht auf
die Entwicklungsphase, die sie im Rahmen ihrer
Eigendynamik repräsentierten.
- b) Teilexploitierte Primärwälder. Hierunter wurden
solche Bestandestypen verstanden, deren Oberetage
durch Nutzung eines Teils der Altbäume aufgelich-
tet war, ohne daß jedoch dadurch der Waldcharak-
ter ganz aufgehoben worden wäre.
- c) Totalexploitiertes Waldterrain ohne beachtenswerte
Reste eines Altbestandes mit entsprechend starker
Veränderung der bisherigen ökologischen Bedingungen.

Weiterhin ging das Bestreben dahin, Beobachtungen auf
regionaler Ebene anzustellen; damit sollte von vorn-
herein der Gefahr vorgebeugt werden, daß lokal gewon-
nene Erkenntnisse für allgemein zutreffend gehalten
würden. Dies war um so notwendiger, als das natürliche
Areal der Baumart *Raulí* eine Nord-Südausdehnung von

ca. 700 km aufweist und somit großklimatisch keineswegs einheitlich ist.

Folgt man einer Einteilung des Landes in Klimazonen, so wie sie WEISCHET, 1970, vornimmt, dann läuft die Grenze zwischen der "immerfeuchten Zone mit Regenmaximum im Winter" einerseits und den "wechselfeuchten Subtropen" andererseits bei 38° südl. Breite mitten durch das Verbreitungsgebiet von N. alpina. Natürlich ist diese Trennlinie in ihrem Verlauf nicht unabhängig von der Höhenlage; man kann davon ausgehen, daß sich die "immerfeuchte Zone" in den höheren Lagen der Küsten- und Andenkordillere, in denen der Raulí zu Hause ist, noch ziemlich weit über den 38. Breitengrad nach Norden hinaufzieht.

Das wird deutlich, wenn man die Karte der mittleren Jahressumme der Niederschläge in Chile betrachtet (siehe Abb. 24), auf der im Bereich der Forstregion Zonen von 1000 bis 3000 und solche von 3000 bis 5000 mm Jahresniederschlag eingezeichnet sind, mit deutlicher Massierung der Schwarztönung in Küsten und Andenkordillere. Trotz dieser ausgleichenden Tendenz durch die Höhenlage wird die Situation der Niederschläge innerhalb des Bergwaldgürtels von Raulí sowohl bezüglich des jahreszeitlichen Rhythmus als auch hinsichtlich der Jahresmengen im nördlichen Teil seines Verbreitungsgebietes zunehmend ungünstiger. Wurden für ein Raulí-Vorkommen in TRAFUN (39° 35 S; 71° 55 W) jährliche Niederschlagsmengen von ca. 5000 mm gemessen (BURSCHEL et al., 1970) so liegt dieser Wert in der Naturwaldreserve von Malleco (38° 10 S; 71° 40 W) zwischen 3000 und 4000 mm (FAO, 1973) und sinkt im äußersten Norden der Forstregion, auch in der Bergwaldzone, vermutlich auf weniger als 1500 mm ab.

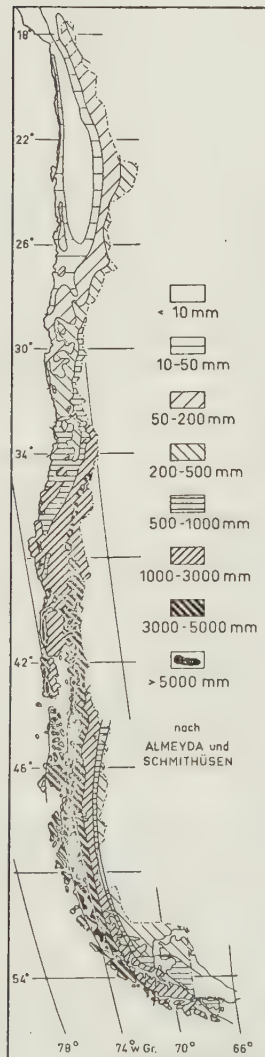
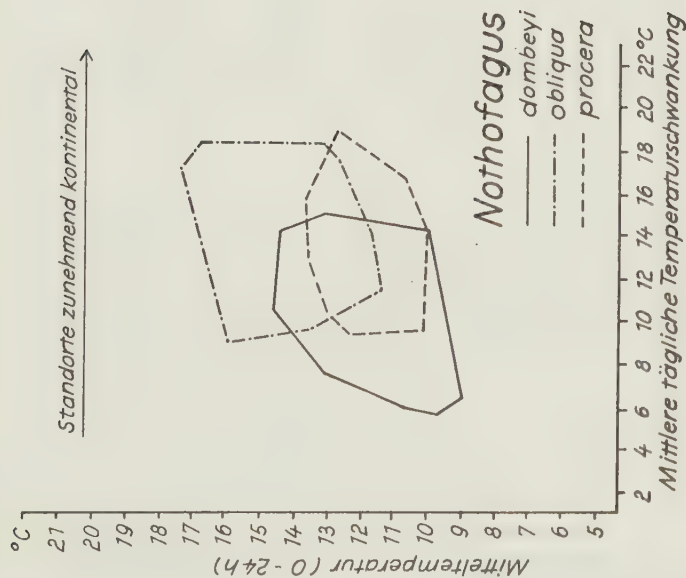


Abb. 22 Karte der mittleren jährlichen Niederschlags-
summen in Chile aus WEISCHET, 1970.

Neben den jährlichen Niederschlagsmengen und ihrer jahreszeitlichen Verteilung ändern sich natürlich auch die Temperaturbedingungen innerhalb der Forstregion: Verfolgt man die Jahresmittel der vergleichbaren Stationen (Längstal) von Süd nach Nord, so ergibt sich von Rio Bueno, $40^{\circ} 19' S$, über Valdivia, Temuco, Angol bis Talca, $35^{\circ} 26' S$, eine kontinuierliche Zunahme von $11,3$ auf $14,7^{\circ}C$. Die Temperatur in der Vegetationszeit (November bis März) steigt sogar von $14,5^{\circ}$ in Rio Bueno auf $19,8^{\circ}$ in Talca. Diese Werte sagen direkt allerdings gar nichts über die temperaturklimatischen Amplitude von N. alpina aus; wie im Falle der Niederschläge spielt hier die vertikale Verbreitung eine entscheidende Rolle. Langfristige Temperaturdaten aus dem von Rauli bevorzugten Höhengürtel existieren bedauerlicherweise nicht.

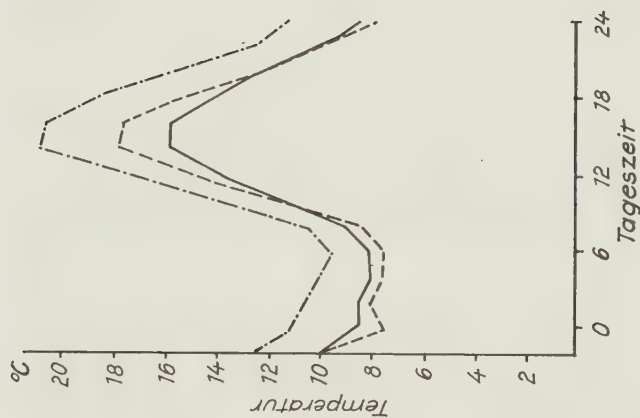
WEINBERGER (1973) führte Temperaturmessungen in Bodenöhe während der Vegetationszeit (Dezember bis Februar) in zahlreichen Nothofagusverjüngungen durch und charakterisierte die temperaturklimatischen Ansprüche von N. alpina durch das in Abb. 25 a dargestellte Ökoklimadiagramm. Zum Vergleich werden die entsprechenden Diagramme für N. obliqua und N. dombeyi beigelegt. Danach wäre N. alpina in seiner Kontinentalität ähnlich zu beurteilen, wie N. obliqua; diese beiden laubabwerfenden Arten haben weniger ozeanischen Charakter, als N. dombeyi. Andererseits liegt Rauli bezüglich seiner Wärmeansprüche deutlich unter denen des Roble (siehe 25 b). Der "optimale Rauli-Standort"¹⁾ weist

1) Durch Zusammenfassung der temperaturklimatischen Daten aus allen einbezogenen Standorten einer Baumart und Bildung der entsprechenden Mittelwerte kommt der Autor zur klimatischen Charakterisierung des "optimalen Standortes". Dabei ist nicht ganz klar, ob die Zahl der Messungen, gleichzeitig auch die Zahl der einbezogenen Standorte repräsentiert, oder ob die Mittelwerte auf wiederholten Messungen an wenigen Standorten beruhen. Auch ist der Arbeit nicht zu entnehmen, wo genau die Standorte innerhalb des Untersuchungsgebietes lokalisiert waren und wie im einzelnen die Überschirmungsverhältnisse aussahen.



a)

Abb. 25 Ökoclimadiagramm für die Nothofagusarten
N. dombeysi, N. obliqua und N. alpina
(= procera)



Tagestemperaturkurven der "optimalen Standorte"
für N. dombeysi, N. obliqua und N. alpina
(= procera)

Nach WEINBERGER, 1973

in seinem täglichen Temperaturverlauf in der Vegetationszeit große Ähnlichkeit mit dem von Coigüe auf, an den er nach WEINBERGER eine ausgeprägte pflanzensoziologische Bindung hat (s. Abb. 25 b).

Die südliche Grenze des Verbreitungsgebietes von N. alpina liegt in der chilenischen Andenkordillere etwas südlich des Maihue-Sees auf ca. $40^{\circ} 25'$ südl. Breite. In der Küstenkordillere dürfte das Vorkommen in Llancacura nahe des Rio Bueno auf $40^{\circ} 20'$ etwa die Südgrenze darstellen. Damit reicht das Areal weiter, als es in älteren Vegetationsbeschreibungen dargestellt ist. REICHE, 1907, erwähnt N. procera (= N. alpina) bis zur Breite des Vulkans Villarica, und auch BERNINGER (1919) spricht davon, daß der Raulí wenig südlich des Villarica-Vulkans verschwindet. Die neuere Literatur bestätigt jedoch die Südgrenze auf Höhe des Maihue-Sees (BERNATH, 1940; KOZDON, 1958; VALENZUELA, 1967). Die Angaben über die Nordgrenze seines Areals sind ebenfalls leicht widersprüchlich. Während BERNATH die Provinz Curicó angibt, sprechen REICHE und BERNINGER sowie auch MUNOZ, 1963, von der Provinz Linares etwas nördlich des 36. Breitengrades.

Was die Vertikalverbreitung angeht, so kann man die untere Grenze in Übereinstimmung mit REICHE von Norden nach Süden abnehmend zwischen 700 und 500 m ü. NN annehmen (im Bereich der Küstenkordillere zuweilen noch tiefer), während die obere Grenze nach BRUN (1969) bei 1100 bis 1200 m ü. NN liegt.

Angesichts dieser horizontalen und vertikalen Verbreitungsspanne wurden N. alpina-Wälder ganz unterschiedlichen Gepräges erwartet, sowohl, was die Artenzusammensetzung anbelangt, als auch - z.T. damit verbunden - ihre innere Struktur. Zu den klimatischen Unterschieden kommt ein möglicher Einfluß des geologischen Substrates, das im überwiegenden Teil des

Areals neueren vulkanischen Ursprungs, teilweise aber auch älterer Herkunft ist, wie z.B. die Granite im Bereich des Nahuelbuta-Gebirges (Küstenkordillere).

Von diesen Überlegungen ausgehend wurde eine größere Erkundungsreise durchgeführt mit dem Ziel, aus den verschiedensten Reliktvorkommen von N. alpina im Gesamtbereich seines natürlichen Areals solche Waldparzellen auszusuchen, die in augenscheinlich markanter Weise voneinander abweichende Bestandestypen repräsentierten.

Das Ergebnis zeigt die Abb. 26. Fünf verschiedene Urwaldparzellen von der Provinz Valdivia bis hinauf in die Provinz Linares stehen einer gleichen Zahl von zerstörten bzw. teilzerstörten Waldbildern gegenüber. Zwar konnte mit einer solchen Auswahl keineswegs dem Anspruch auf Vollständigkeit Genüge getan werden; immerhin wurde es auf diese Weise aber möglich, wertvolle ökologische Zusatzinformationen für die waldbauliche Beurteilung des Raulí zu sammeln, die sich bei Beschränkung auf ein lokal eng begrenztes Untersuchungsgebiet nicht hätten gewinnen lassen.

2.2

Beschreibung und Aufnahmeergebnisse der ausgewählten Urwaldparzellen

Die Bestandes- und Verjüngungsanalyse der unberührten Waldbilder soll im folgenden in der Reihenfolge ihrer geografischen Lage von Süd nach Nord vorgenommen werden. Die Ergebnisse der Bodenanalysen werden dagegen - der besseren Zusammenschau und Vergleichbarkeit wegen - am Schluß dieses Abschnittes vorgelegt.

2.21

Urwaldparzelle ARQUILHUE

2.211

Beschreibung

Diese Parzelle liegt ganz im Süden des Rauli-Areals bei 40° 5' S.; 71° 55' W auf ca. 700 m Meereshöhe. Entsprechend

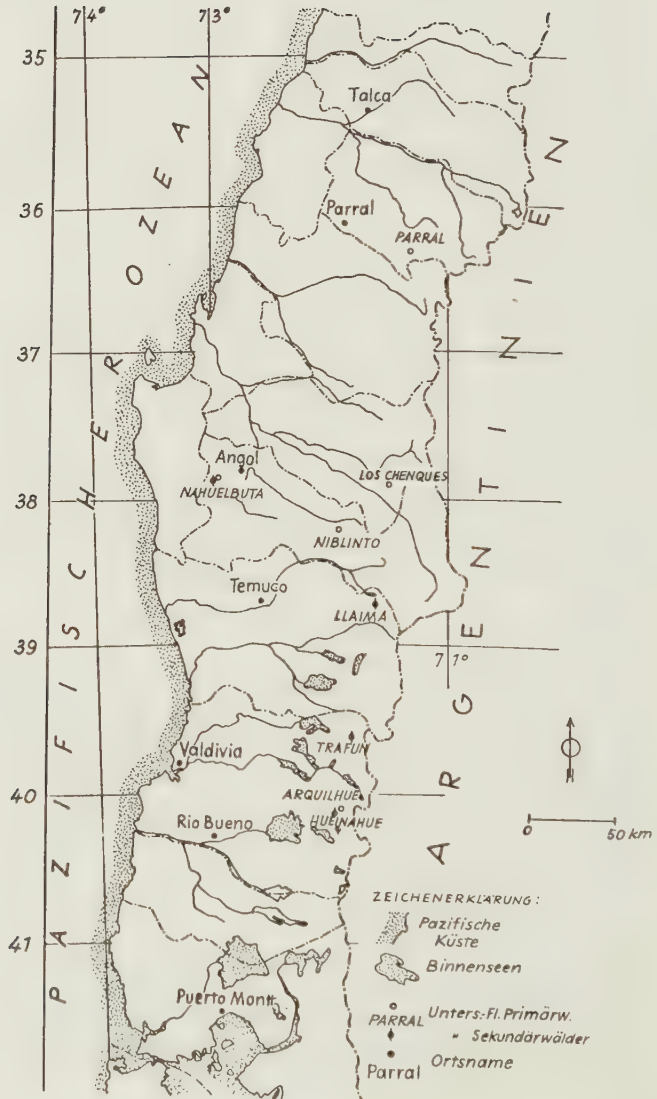


Abb. 26 Karte der Untersuchungsflächen im natürl. Areal von *N. alpina*

dieser Höhenlage läßt sich, aus niedrigeren Meereshöhen hereinragend, noch ein Einfluß des Valdivianischen Regenwaldes spüren, der sich vor allem im Artenreichtum der zweiten Baumschicht und des Unterwuchses manifestiert. Auf der anderen Seite trägt der Bestand schon Züge des nordpatagonischen Regenwaldes, der weiter nördlich erst in größerer Meereshöhe (z.B. auf 1200 m in TRAFUN) spürbar wird.

Maytenus magellanica (Maitén) in hoher Individuenzahl, der hier nicht mehr als Strauch, sondern mit eindeutigem Baumcharakter vorkommt, und Drimys winteri var. andina, eine kniehohe Zwergform des sonst hochstämmigen Canelo, mögen dafür als Zeugen dienen.

Die obere Baumetage wird von N. dombeyi und N. alpina gebildet, wobei der erstgenannte (Coigüe) Höhen von 40 m und mehr erreicht, während die größeren Exemplare von Raulí Baumhöhen von 30 - 35 m aufweisen.

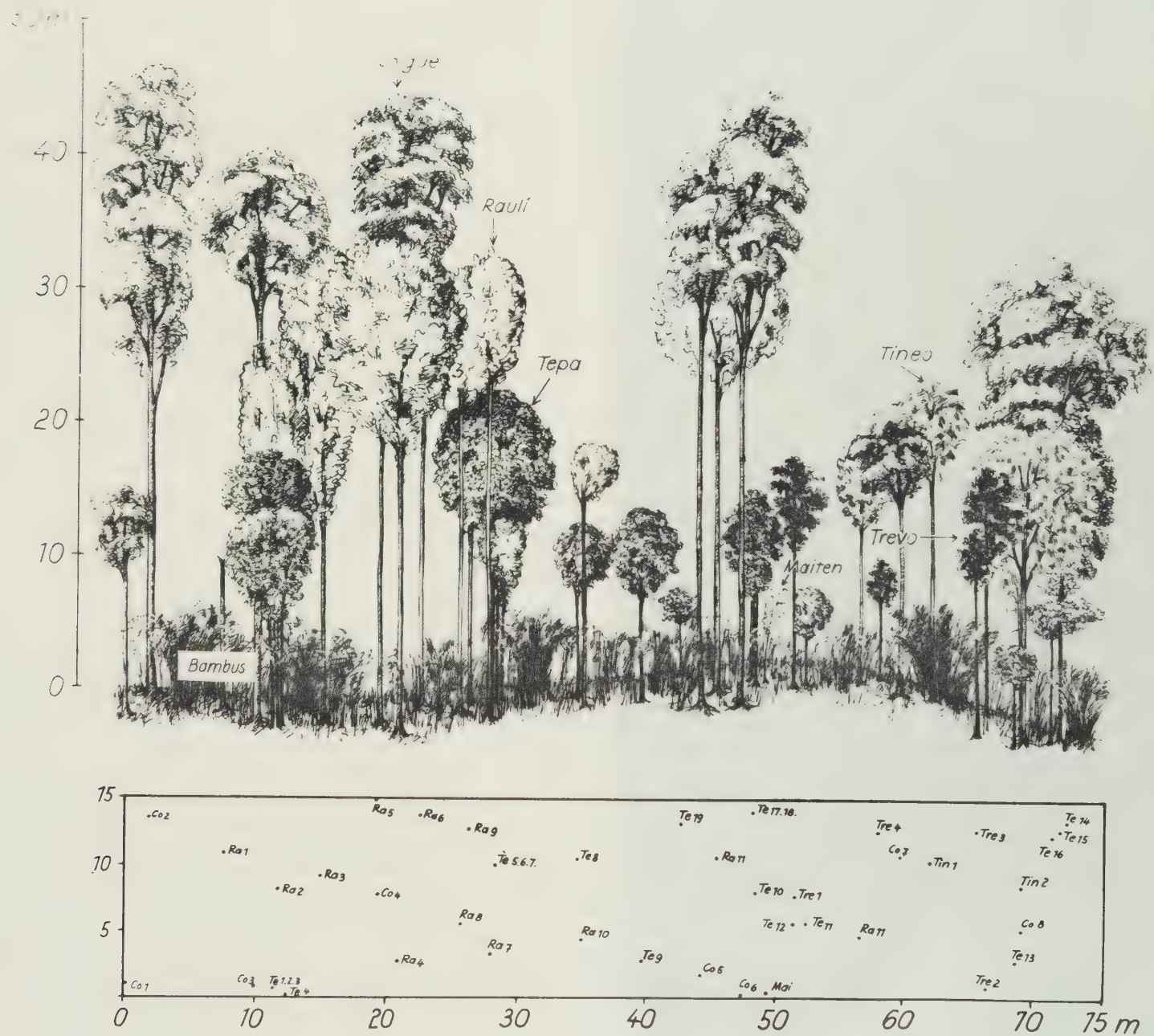
Deutlich abgesetzt von dieser Oberschicht läßt sich eine zweite Baumetage im Höhenbereich zwischen 10 und 25 m ausscheiden. Dabei bildet Weinmannia trichosperma (Tíneo), wo vorhanden, die Randzone nach oben hin, während Laurelia philippiana (Tepa) und Flotowia dianthoides (Trevo) den mittleren Bereich ausfüllen. Von unten her erlangt zum Teil Maytenus magellanica Anschluß an diese zweite Etage. Der Unterwuchs wird überwiegend von Bambusgesträuch (Chusquea coleu) bestimmt, das hier trotz des geringen Lichtangebotes Höhen bis zu 6 m erreicht. Demgegenüber spielen einige Sträucher wie Azara ssp. sowie der kniehohe Bergcanelo nur eine untergeordnete Rolle. Abb. 27 zeigt die Vegetationsverhältnisse dieser Parzelle im Vertikalprofil

2.212

Aufnahmeergebnisse

Baumbestand

Die Grenze zwischen Altbestand und Verjüngung wurde auf 7 cm BHD festgelegt. Diese Grenze war insofern zweckmäßig, als auf diese Weise die Exemplare von Maitén, die trotz



geringer Durchmesserentwicklung Alter von 60 Jahren und mehr aufwiesen, dem Baumbestand zugeordnet werden konnten, und nicht als Verjüngung oder Konkurrenzvegetation eingestuft werden mußten. Für Raulí und Coigüe war eine solche Grenzziehung ebenfalls einleuchtend, weil die an den Baumschichten beteiligten Individuen erheblich über dieser Schwelle lagen, während die Verjüngung diesen Wert bei weitem nicht erreichte. Lediglich bei Tapa erschien die Grenzziehung etwas willkürlich, da sie als extreme Schattholzart in allen Altern und innerhalb eines breiten Durchmesserbereiches vorkommt, so daß eine Einteilung in Altbestand und Verjüngung ziemlich müßig ist.

Tabelle 16 gibt Auskunft über Stammzahl und Kreisfläche der am Bestände beteiligten Arten als Ergebnis einer Vollklappung auf der 1 ha großen Aufnahmefläche.

Art	Stammzahl/ha	Kreisfläche	
		m ² /ha	%
Raulí	50	8.5	14
Coigüe	57	39.2	66
Tineo	6	1.0	2
Tapa	251	9.2	15
Trevo	13	0.8	1
Maiten	70	1.2	2
Summe	447	59.9	100

Tab. 16 Stammzahlen und Kreisflächen pro ha in der Urwaldparzelle ARQUILHUE.

Was die Stammzahl betrifft, so liegt der Schwerpunkt eindeutig in der 2. Baumschicht, die allein fast 70 % aller Bäume beherbergt. Nach der Kreisfläche ist die Situation jedoch ganz anders. Hier ist die Oberschicht mit 80 % an der Bestandesgrundfläche beteiligt, wobei Coigüe mit einigen Riesenexemplaren die Hauptrolle spielt, während Raulí bei fast gleicher Individuenzahl in geringerem Maße zur Kreisfläche dieser obersten Baumschicht beiträgt.

Noch eindeutiger wird das Bild, wenn man die Verteilung der jeweiligen Stammzahlen über die Durchmesserstufen studiert, so wie sie Abb. 28 a wiedergibt. Tapa und Maiten als Schattholzarten zeichnen sich durch ähnlichen Kurvenverlauf aus, mit Schwerpunkt in der Durchmesserklasse 15 und anschließendem abrupten Absinken zum Stärkeren hin. Raulí und Coigüe zeigen unterschiedliches Verhalten. Während N. alpina ein deutliches Maximum bei BHD 35 zeigt und nicht über die Durchmesserstufe 85 hinauskommt, findet sich Coigüe in annähernd gleicher Zahl verteilt über einen extrem weiten Durchmesserbereich von 15 bis 175 cm.

Sucht man in der Literatur nach Parallelen für den beschriebenen Urwaldtyp, so ergibt sich ein enger Bezug zu dem von BRUN, 1969, ausgeschiedenen Raulí-Coigüe-Typ mit Tapa und Mañío. Bei dynamischer Betrachtung dieses Waldtyps, der mit Material aus 61 Probeflächen belegt wurde, lassen sich nach BRUN die folgenden vier charakteristischen Entwicklungsstadien anhand der Durchmesserverteilungen ausscheiden:

1. die Vorphase, 2. die Hauptphase, 3. die Altersphase und 4. die Erneuerungszwischenphase. Abb. 28 b zeigt die Situation in der 2. Phase, wobei Lichtarten (Raulí und Coigüe) einerseits und Schattarten (Tapa und Mañío) andererseits durch jeweils eine Kurve repräsentiert werden. Die Ähnlichkeit zu Abb. 28 a ist offensichtlich. Allerdings liegt das Kreisflächengesamtniveau in ARQUILHUE mit 60 m^2 unter dem von BRUN für die 2. Phase ermittelten Wert von mindestens 80 m^2 . Verantwortlich dafür ist die geringe Grundfläche des Raulí, die - wenn man sie als Funktion der Bestandesdynamik auffaßt - einen Frühbereich der 2. Phase repräsentieren würde.

Denkbar ist aber auch, daß N. alpina, der in ARQUILHUE der Südgrenze seines natürlichen Verbreitungsgebietes schon sehr nahe ist, generell nicht mehr so viel leistet, wie 100 km weiter nördlich. Hinzu mag der Einfluß der geringeren Höhenlage kommen, denn das Leistungsoptimum dieses Waldtyps liegt nach BRUN bei etwa 1000 m ü. NN (siehe Abb. 29).

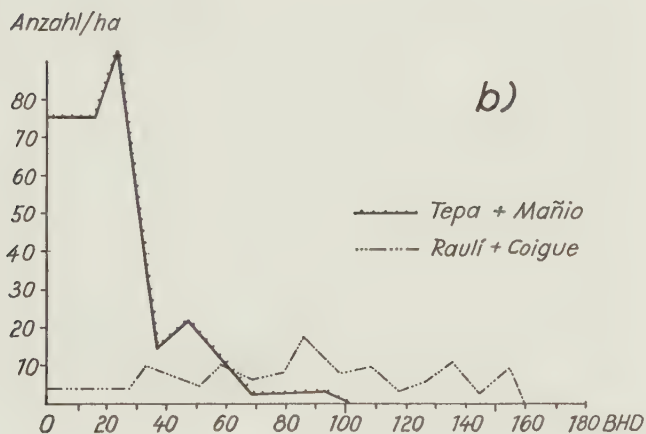
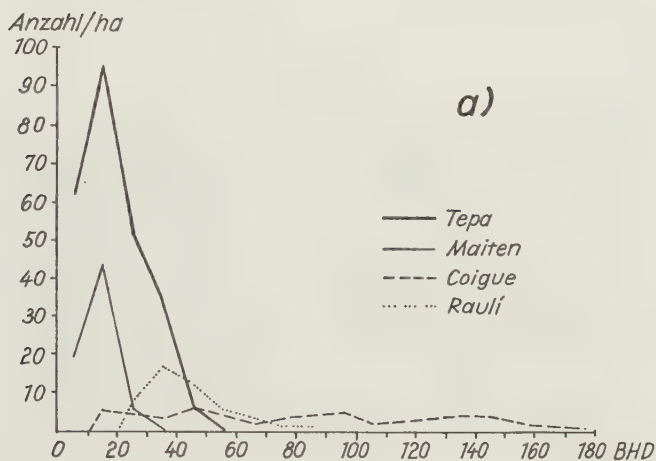
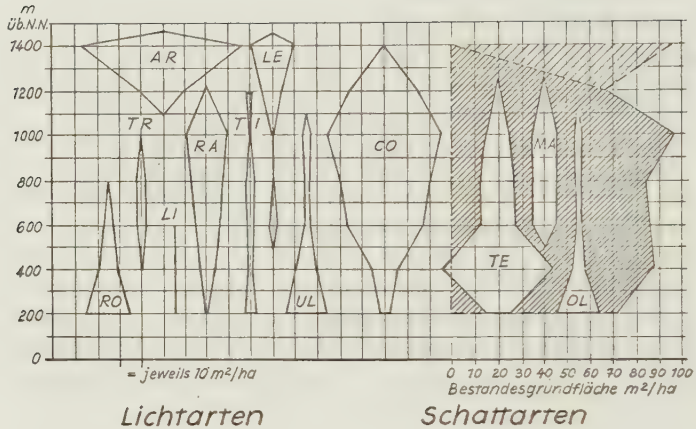


Abb. 28 a) Durchmesservertelung in der Urwaldparzelle ARQUILHUE
 b) Charakteristische Durchmesservertelung dieses Wald-
 typs in der Prov. Valdivia nach BRUN, 1969



AR = Araukarie	MA = Mañio	TE = Tepa
CO = Coigüe	OL = Olivillo	TI = Tineo
LE = Lenga	RA = Rauli	TR = Trevo
LI = Lingue	RO = Roble	UL = Ulmo

Abb. 29 Übersicht über die Beteiligung verschiedener Baumarten an der Grundfläche in verschiedenen Höhenstufen der Anden (Provinz Valdivia) nach BRUN, 1969

BURSHEL et al. stellten in TRAFUN sogar noch auf 1100 m Meereshöhe in einer Urwaldparzelle des gleichen Waldtyps, die der 3. Phase nach BRUN (= Altersphase) zugerechnet werden muß, 89,5 m²/ha als Bestandesgrundfläche fest, wovon 26,5 m² auf Rauli, 32,5 m² auf Coigüe und 30,5 m² auf Mañio und Tepa fielen.

Unterschiedliche Bodenqualität zwischen den Parzellen in ARQUILHUE und TRAFUN für diese Grundflächenunterschiede verantwortlich zu machen, wäre sicher weniger zutreffend, denn die chemischen und physikalischen Eigenschaften der jungen vulkanischen Böden sind - wie sich bei Vergleich der eigenen mit den BURSHEL'schen Analyseergebnissen herausstellte - bemerkenswert ähnlich.

Trotz der kreisflächenmäßig geringeren Beteiligung von Raulí paßt der Bestand der Urwaldparzelle ARQUILHUE nach Artenzusammensetzung, Schichtung und - mit gewissen Abweichungen-auch nach der Durchmesservertelung in das Bild der Coigüe-Rauli-Bergwälder der Provinz Valdivia mit ihrer enormen Vorratshaltigkeit, die sie mit den Buchenwirtschaftswäldern der Nordhalbkugel gänzlich unvergleichbar macht.

Verjüngung:

Auf die Obergrenze dessen, was als Verjüngung anzusprechen war, wurde bereits hingewiesen. Ebenso war es notwendig, die untere Grenze festzulegen, denn Verjüngung ist theoretisch bereits jeder Keimling, unabhängig von seinen Überlebenschancen. Im vorliegenden Fall wurden diejenigen Pflanzen als "etabliert" und damit berücksichtigungswürdig bezeichnet, denen keine Kotyledonen mehr anhafteten und die damit zumindest einen Vegetationszyklus überstanden hatten.

Als Aufnahmeverfahren wurde das bereits in allen Einzelheiten vorgestellte Probekreisverfahren gewählt. Der augenscheinlich sehr geringen Besatzdichte von Nothofaguspflanzen wegen wurde allerdings ein Flächenaufnahmeprozent von 20 (= 400 Plots/ha) für notwendig erachtet.

Tabelle 17 zeigt die Dichteschätzwerte für Raulí, Coigüe und Tepa mit den dazugehörigen Fehlerangaben.

Baumart	Individuenzahl/ha	Standardfehler	S %
Raulí	310	± 68	22.16
Coigüe	490	± 136	27.70
Tepa	3.880	± 390	10.05

Tab. 17 Ergebnisse der Verjüngungsinventur in der Urwaldparzelle ARQUILHUE

Ihrer Entstehung nach wurden in der Nothofagusverjüngung ausschließlich Kernwüchse gefunden, während die Tepaverjüngung ganz überwiegend aus Wurzelbrut entstanden war. Über die räumliche Verteilung gibt Abb. 30 Auskunft, die aus den Aufnahmeprotokollen rekonstruiert wurde. Danach sind Raulí und Coigüe in Form von mehreren kleineren und

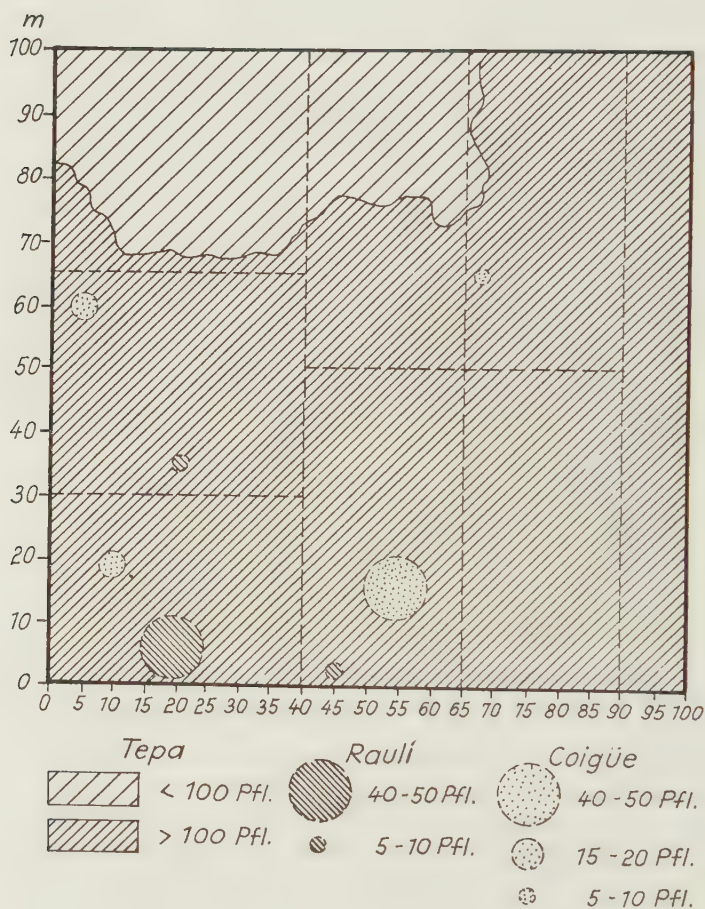


Abb. 30 Verteilung der Baumverzückung über die Aufnahmefläche im Urwald von ARQUILHUE

je einer größeren Klumpung im südlichen, südöstlichen und östlichen Teil der Fläche vorhanden, während Tepa auf ganzer Fläche vertreten ist, mit einer verdünnten Zone im südwestlichen Teil. Angesichts der kaum vorhandenen Differenzierung der Nothofagusverjüngung nach Höhe und Durchmesser erübrigte sich eine Klassifizierung nach Qualitätsstufen. Kaum eine der Pflanzen hätte der im vorigen Kapitel definierten Gruppe der "zukunftsstüchtigen Pflanzen" zugeordnet werden können, was nicht zuletzt der starken Bambuskonkurrenz zugeschrieben werden muß.

Konkurrenzvegetation:

Im gleichen Aufnahmegang mit der Probekreisauszählung wurden an jedem 4. Stichprobenpunkt in zwei Sektoren die Entfernungen zum drittnächsten Coigüe-Rohr (*Chusquea coleu*) gemessen. Auf diese Weise konnte eine Vorstellung von den Konkurrenzverhältnissen erarbeitet werden, die in der Verjüngungsetage herrschten. Tab. 18 enthält die entsprechenden Ergebnisse.

Konkurrierende Spezies	Dichte Rohre/ha	Standardfehler	S %
<i>Chusquea coleu</i>	d ₁ 67.599	+ 10.045	14.86
	d ₂ 61.355	+ 10.724	17.47

Tab. 18 Dichteschätzung von *Chusquea coleu* in der Urwaldparzelle ARQUILHUE.

Das Mittel aus d₁ und d₂ beträgt ca. 64.000, d.h. rein rechnerisch stehen im Parzellendurchschnitt mehr als 6 Bambusrohre pro m², und das unter einem geschlossenen Bestand von 60 m² Grundfläche. Angesichts dieser Zahlen werden die geringen Individuenzahlen, mit denen die Nothofagusarten in der Verjüngungsetage vertreten sind, verständlich. Auf der anderen Seite ist die Üppigkeit der Bambusvegetation in diesem geschlossenen Urwaldbestand

erstaunlich und steht im Widerspruch zu der These, daß erst durch die Verlichtung der Urwaldbestände im Zuge von Exploitationsmaßnahmen der Bambus Einzug gehalten habe in diese gestörten Waldflächen und dort durch den erhöhten Lichtgenuß zu einem Verjüngungshindernis geworden sei.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß der untersuchte Urwaldbestand zum Zeitpunkt der Aufnahme eine Struktur aufwies, die die Schaffung einer ausreichenden Verjüngungsreserve für Katastrophenfälle verhinderte. Bei Zerstörung seines Oberstandes durch Exploitationsmaßnahmen ohne vorherige Ausnutzung eines Mastjahres könnte folglich nicht damit gerechnet werden, daß sich der Bestand aus eigener Kraft in annähernd ähnlicher Baumartenverteilung reproduziert.

2.22 Urwaldparzelle NIBLINTO

2.221 Beschreibung

Der Bestand liegt in der Staatlichen Forstreserve Malleco in der Vorkordillere der Anden auf 680 m Meereshöhe bei etwa $38^{\circ} 10'$ S. und $71^{\circ} 50'$ S. Innerhalb der Nord-Süd-Ausdehnung des natürlichen Areals von N. alpina liegt die Parzelle zentral, d.h. genau auf halber Höhe zwischen dem Urwaldbestand in ARQUILHUE und dem später zu beschreibenden Raulí-Wald "PARRAL" in der Provinz Linares. Im Gegensatz zu der Parzelle in ARQUILHUE tritt der Aspekt des nordpatagonischen Regenwaldes in NIBLINTO zurück, vielmehr sind zumindest Unter- und Zwischenstand in dieser Waldparzelle stark von den Arten des Valdivianischen Regenwaldes geprägt. Die Oberschicht bilden die beiden Nothofagusarten Coigüe und Raulí, wobei auch hier die erstgenannte Art mit ca. 40 m Baumhöhe die größeren Dimensionen erreicht. Bei Raulí liegen die Oberhöhen im Bereich um 36 m. An der Oberetage ist außerdem Tineo mit Baumhöhen um 30 m mitbeteiligt. Es folgt eine 2. Schicht im Bereich zwischen 12 und 20 m, die ganz eindeutig von Aextoxicon punctatum (Olivillo) beherrscht wird, mit geringer Beteiligung von Tapa und Trevo. Schließlich existiert eine

3. Etage aus Sträuchern wie Gevuina avellana MOL. (Avellano) und Lomatia dentata (R. et PAV.) R.Br. (Avellanillo), während Chusquea ssp. nur ganz vereinzelt und in schlechtem Entwicklungszustand vorkommen.

Auf die Präsentation eines Bestandesprofils muß hier verzichtet werden, da der Bestand in der Vegetationszeit 1971/72, für die die entsprechenden Aufnahmearbeiten vorgesehen waren, bereits der Axt zum Opfer gefallen war.

2.222 Aufnahmeergebnisse

Baumbestand

Die Stammzahl- bzw. Kreisflächenanteile, mit denen die verschiedenen Baumarten am Gesamtbestand beteiligt waren, zeigt Tab. 19

Art	Stammzahl/ha	Kreisfläche/ha m ²	%
Raulí	84	17,2	23
Coigüe	12	13,5	18
Tineo	76	17,1	22
Tepa	39	2,1	3
Olivillo	572	20,6	27
Andere	183+)	5,4	7
Insgesamt	966	75,9	100

Tab. 19 Stammzahlen und Kreisflächen pro ha in der Urwaldparzelle NIBLINTO.

+) Trevo, Avellano und Avellanillo.

Neben der hohen Bestandesgrundfläche von 76 m²/ha fällt die gänzlich veränderte Artenwichtung innerhalb der Oberschicht auf. Raulí rückt nach Zahl und Kreisfläche in den Vordergrund, während Coigüe nur noch mit wenigen, allerdings sehr starken Exemplaren vertreten ist. Dafür schiebt sich

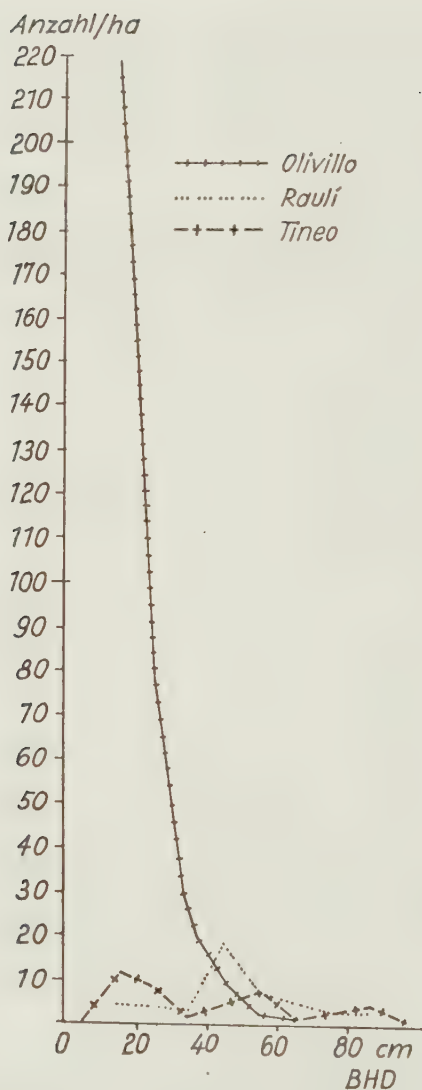


Abb. 31 Durchmesserverteilung in der Urwaldparzelle NIBLINTO

Tineo, der in ARQUILHUE eher noch der 2. Etage zuzurechnen war, mit hoher Stammzahl und respektablen Baumhöhen in den Unterbereich der 1. Etage.

In der Mittelschicht ersetzt Olivillo die Tapa fast vollständig. Hinzu kommen Trevo, Avellano und Avellanillo, die mit einigen Exemplaren der Strauchschicht entwachsen sind und als Bäume 2. Ordnung der Mittelschicht zugerechnet werden müssen. Abb. 31 zeigt die jeweiligen Stammzahlen über den Durchmesserklassen.

Im Prinzip ergibt sich das gleiche Bild wie in ARQUILHUE: Olivillo tritt hier an Stelle von Tapa und zeigt die typische "Schattholzkurve", während Raúl bei 45 cm BHD einen klaren Gipfel aufweist, der gegenüber ARQUILHUE etwas zum Stärkeren hin verlagert ist. Coigüe ist auch in NIBLINTO über den gesamten Durchmesserbereich von 0,10 bis 1,80 m vertreten, wegen der geringen Stammzahl wurde auf seine grafische Darstellung jedoch verzichtet. Tineo, schließlich, verhält sich ähnlich wie Coigüe: seine Kurve zeigt keinen klaren Gipfel, sondern verläuft ziemlich gleichmäßig durch alle BHD-Klassen bis zum Abszissenwert von 95 cm. Macht man sich die dynamische Betrachtung von BRUN zueigen, so würde der Bestand in die gleiche 2. Hauptphase einzuordnen sein, wie die Parzelle ARQUILHUE, innerhalb dieser jedoch einen späteren Zeitpunkt repräsentieren.

Verjüngung

An Baumverjüngung wurde lediglich Olivillo gefunden, und zwar in auffallend homogener Verteilung; der Entstehung nach handelt es sich fast ausschließlich um Stockausschlag und Wurzelbrut, wie Nachgrabungen ergeben haben. Angesichts der hohen Stammzahl von Olivillo in der Mittelschicht kann davon ausgegangen werden, daß nahezu die gesamte Bestandsfläche von Wurzeln dieser schattenertragenden Baumart durchzogen war. Daraus mag sich die fehlende Klumpungstendenz erklären.

Schwierig war es, zu einer Untergrenze dessen zu gelangen, was noch als Baumverjüngung anzusprechen war, denn das Vorhandensein oder Fehlen von Kotyledonen, das im Fall der Nothofagusverjüngungen der Beurteilungsmaßstab war, ist als Kriterium nur für Kernwüchse tauglich. Andererseits ist nicht jeder Schößling ein potentieller Baum, viele vegetieren ohne Tendenz zu aufrechtem Wachstum an der Bodenoberfläche dahin und scheiden (zumindest im Augenblick der Aufnahme) als Verjüngung aus. Entsprechend wurde vereinbart, nur diejenigen Schößlinge in den Probekreisen als Individuen anzusprechen, die 1 m Höhe oder mehr erreicht hatten. Tab. 20 zeigt die auf diese Weise ermittelte Individuendichte in der Verjüngungsebene.

Art	Dichte	Standardfehler	S %
Olivillo	7800	± 1410	18.07

Tab. 20 Verjüngungsinventur in NIBLINTO

In 50 Probekreisen von je 10 m² Größe fand sich nicht eine einzige Verjüngungspflanze der in der Oberetage vertretenen Baumarten, während Olivillo - ganz ähnlich wie Tepa in ARQUILHUE in allen Probekreisen reichlich vorhanden war.

Konkurrenzvegetation

Im gleichen Aufnahmegang mit der Verjüngungsinventur wurde auch die Konkurrenzvegetation registriert, die hier aus einer ziemlich üppigen Strauchschicht bestand.

Dabei wurde nicht weiter zwischen den betreffenden Arten unterschieden, im wesentlichen handelte es sich um die schon genannten Proteaceen Avellano und Avellanillo. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 21.

Konkurrierende Spezies	Individuendichte Pfl/ha	Standardfehler	S %
Avellano und Avellanillo	1588	± 327	20.6

Tab. 21 Dichteschätzung von Guevina avellana und Lomatia dentata in der Urwaldparzelle NIBLINTO

Angesichts der relativ geringen Individuenzahl kommt der Strauchschicht nur eine untergeordnete Bedeutung als mechanisches Verjüngungshemmnis zu. Hinderlich könnte sie allerdings über die Wurzelkonkurrenz oder den zusätzlichen Beschattungseffekt durch die relativ große Blattfläche sein, die sie besitzt.

Vom Gesichtspunkt der Verjüngungsdynamik her läßt sich der Urwaldbestand von NIBLINTO ähnlich beurteilen, wie die Parzelle ARQUILHUE: Die gegenwärtige Struktur läßt eine Verjüngung der wirtschaftlich interessanten Arten (Nothofagus ssp., Weinmannia trichosperma) nicht zu. Dabei spielt in NIBLINTO die nach Stammzahl und Kreisfläche sehr stark entwickelte 2. Etage eine bedeutsame, vielleicht die entscheidende Rolle, während die 3. Etage - anders als in ARQUILHUE - kaum als Verjüngungshindernis in Erscheinung tritt.

2.23 Urwaldparzelle NAHUELBUTA

2.231 Beschreibung

Im Gegensatz zu den vorgenannten Untersuchungsflächen befindet sich die Urwaldparzelle NAHUELBUTA I nicht in den Anden, sondern in der Küstenkordillere innerhalb des gleichnamigen Nationalparks auf 1150 m Meereshöhe. Die geografische Breite beträgt ca 37° 50' bei 73° westl. Länge. Waren die bisher behandelten Waldbilder ganz überwiegend vom Vegetationstyp des valdivianischen Regenwaldes geprägt und damit dem Vegetationsgebiet der "immergrünen Regenwälder der gemäßigten Zone" (nach SCHMITHÜSEN) zuzuordnen, so überwiegt in der nun vorzustellenden Urwaldparzelle schon der Aspekt der "sommergrünen Laubwälder der gemäßigten Zonen", d.h. des SCHMITHÜSEN'schen Vegetationsgebietes 7 (siehe Abb. Nr. 1b). Schon während des Anstieges von Osten her in Richtung auf den Kamm des Nahuelbutagebirges bekommt man - wenn man die Hartlaubformationen mit Lithraea caustica und Peumus boldus hinter sich gelassen hat - eine erste Vorahnung von dem, was BERNINGER, 1929, terminologisch vielleicht nicht ganz zutreffend, mit kontinentalem Sommerwald

bezeichnet: lichte, sommergrüne Wälder, vornehmlich aus Nothofagus obliqua (Roble), stellenweise mit Beimischung von N. alpina, während die immergrüne N. dombeyi nur in den Taleinschnitten oder an feuchten Stellen beteiligt ist. Degradiert durch Köhlerei und Weidetrieb erinnert dieser durch spärlichen Unterwuchs gekennzeichnete Wald zwischen 700 und 900 m ü.NN. eher an verwilderte Obstplantagen als an forstliche Formationen, ein Aspekt, der sich mit zunehmender Höhe (und abnehmendem Zerstörungsgrad) zugunsten des Waldcharakters ändert. Zwischen 1000 und 1100 m Höhe, schließlich, herrscht ein Vegetationstyp vor, der beim besten Willen nicht mehr kontinental genannt werden kann. Rinde und Zweige der Bäume sind mit Flechten behangen, und in den Roblekronen leuchten die feuerroten Blütenbüschel einer Epiphyte. Winden und Schlinggewächse nehmen zu, den Boden decken kniehohe Epacridaceen (Gaultheria, Pernettya) und auch Chusquea stellt sich wieder ein. Roble ist weiterhin dominierend, und Coigüe ist ab 1200 m schon nicht mehr ausschließlich an feuchte Partien gebunden. Raulí mischt sich inselartig bei, wobei die Gründe für sein sporadisches Auftreten oder Fehlen eingehender ökologischer Untersuchungen bedürften.

Die ausgewählte Parzelle ist schwach nach Süd-Ost geneigt. Der Bestand weist im Gegensatz zu den bisher beschriebenen keine 2. Etage von Schattholzarten auf. Überhaupt kann von einer vertikalen Schichtung kaum die Rede sein. Schon der Oberstand setzt sich offenbar aus (mindestens) 2 Generationen zusammen. Einige "Überhälter", in der Mehrzahl Coigüe- und Roblebäume, zeigen deutliche Überalterungserscheinungen. Dazwischen hat sich eine jüngere Generation von Raulí und Coigüe geschoben, die von der Duchmesserentwicklung her ebenfalls als hiebsreif bezeichnet werden kann.

Den gesamten Raum zwischen dem unteren Kronensaum des Oberstandes und der Verjüngungsebene nehmen sodann ausschließlich Individuen der Gattung Nothofagus in allen Durchmesser- und Höhenklassen ein, ohne daß eine klare Zäsur zur Verjüngungsetage hin deutlich würde. Diese totale Ungleichaltrigkeit wurde durch einige Jahrringzählungen an Bohrspänen bestätigt (s. Tabelle 22).

Baumart	Raulí				Coigüe		
BHD in cm	4	17	30	36	55	4	45
Jahrringzahl	24	63	157	74	107	23	70

Tab. 22 Ergebnis der Jahrringzählung bei einigen Exemplaren von Raulí und Coigüe in der Urwaldparzelle NAHUEL BUTA I

Es zeigt sich, daß bei diesem ungleichaltrigen Aufbau die Beziehung zwischen Brusthöhendurchmesser und Alter wenig straff ist. Abb. 32 illustriert die Bestandesstruktur anhand eines Vertikalprofils. Die Strauchschicht war hier ganz besonders artenreich. Auf Vertreter der Gattung Gaultheria, Pernettya und Chusquea wurde bereits hingewiesen. Da das Bestandesprofil die tatsächliche Vielfalt dieser Schicht nicht entsprechend der Wirklichkeit wiedergeben kann, seien noch die folgenden Arten ergänzend genannt:

<u>Berberis linearifolia</u>	PHIL	= Michay
<u>Ribes trilobum</u>	MEYEN	= Parilla
<u>Maytenus magellanica</u>	(LAM)HOOK	= Maitén
<u>Polygala gnidioides</u>	WILID	= Chin-Chin
<u>Campsidium valdivianum</u>	(PHIL) SKOTTSB	= Voquí Blanco
<u>Fuchsia magellanica</u>	LAM	= Chilco
<u>Pseudopanax laetevirens</u>	(GAY) HARMS	= Saucó del Diablo

2.232 Aufnahmeergebnisse

Baumbestand

Die Ergebnisse der Vollkluppung liefert Tabelle 23

Baumart	Stammzahl/ha	Kreisfläche	
		m ² /ha	%
Raulí	184	14.7	27
Coigüe	294	31.8	58
Roble	64	8.0	15
Summe:	542	54.5	100

Tab. 23 Stammzahlen und Kreisflächenanteile der Baumarten in der Urwaldparzelle NAHUEL BUTA



Abb. 32 Bestandesprofil der Urwaldparzelle NAHUELBUTA I

Die Bestandesgrundfläche ist mit 55 m^2 immer noch hoch; Coigüe und Raulí haben weitgehend selbst die Rolle übernommen, die in den vorher beschriebenen Beständen Schattenarten wie Tepa und/oder Olivillo gespielt hatten. Abb. 33, in der die jeweiligen Stammzahlen über den Durchmesserklassen aufgetragen sind, bestätigt diesen Eindruck.

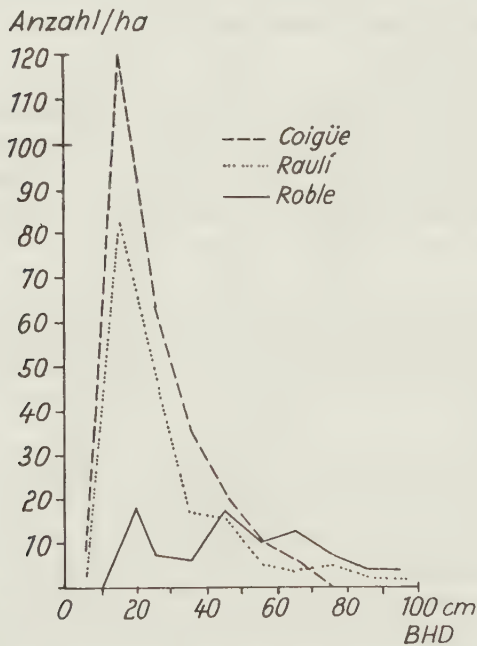


Abb. 33 Durchmesservertelung in der Urwaldparzelle
NAHUEL BUTA I

Raulí und Coigüe zeigen stark veränderte Kurvenbilder, die sich der Tepakurve in Abb. 28 nähern, dabei allerdings viel weiter ins Stärkere hineinreichen. Roble zeigt dagegen deutlich geringere Fähigkeiten zur Auffüllung des Bestandesraumes. Insgesamt kann man von einem Plentergefüge sprechen; interessant wäre in diesem Zusammenhang die Frage, ob es sich dabei lediglich um eine Durchgangsphase innerhalb der Gesamtdynamik handelt, oder ob hier ein dauerhafter Gleichgewichtszustand vorliegt. Einige Hinweise für die Beantwortung dieser Frage gibt die Verjüngungssituation.

Verjüngung

Die Verjüngung wurde in 200 systematisch verteilten Probekreisen von je 5 m² ausgezählt, was bei einer Flächengröße der Parzelle von 1 ha einem Flächenaufnahmeprozent von 10 entsprach. Tabelle 24 zeigt die Dichtewerte für die drei beteiligten Nothofagusarten.

Baumart	Dichte Pfl/ha	Standard- fehler	S %
Raulí	5.358	+ 642	11.99
Coigüe	2.010	+ 552	27.49
Roble	641	+ 188	29.32

Tab. 24 Individuenzahlen in der Verjüngungsschicht der Urwaldparzelle NAHUELBUTA I.

Im Gegensatz zu den Beständen in NIBLINTO und ARQUILHUE ist die Besatzdichte in der Verjüngungsschicht sehr hoch. Insgesamt 8000 Nothofaguspflanzen stehen gleichsam in Reserve, um gegebenenfalls nachzurücken und entstehende oder vorhandene Lücken im Produktionsraum aufzufüllen. Dabei ist Raulí zahlenmäßig mit Abstand am stärksten vertreten, im Gegensatz zum Baumbestand, in dem Coigüe eine größere Rolle spielt.

Interessant war in diesem Zusammenhang auch die qualitative Einschätzung der drei Nothofagusarten in der Verjüngungsebene, die entsprechend dem in Abschnitt 1.3 geschilderten Klassifizierungsprozeß vorgenommen wurde. In Anbetracht der anderen Konkurrenzvegetation, die in der Parzelle NAHUELBUTA selten über Brusthöhe reichte, dafür aber von sehr gleichmäßiger Dichte war, wurden die Höhenklassen wie folgt variiert:

Klasse 1	= 1 bis 50 cm
Klasse 2	= 51 bis 150 cm
Klasse 3	> 150 cm

Tabelle 25 zeigt das Ergebnis dieser Qualitätsstudie ausgedrückt in "zukunftsstüchtigen Pflanzen" pro ha.

Art	Zukunftspflanzen pro ha	% aller Pflanzen dieser Spezies +)
Raulí	510	9.5
Coigüe	163	8.1
Roble	54	8.4

Tab. 25 Ergebnis der Qualitätsstudie im Rahmen der Verjüngungsinventur (NAHUELBUTA I)

+) Vergl. Tab. 24

Auch in der Verjüngungsetage ergibt sich eine starke Differenzierung nach Entwicklungsstand und Qualität der Individuen, die sich darstellen ließe durch ein Trapez, dessen Basisseite etwa 10 mal breiter ist als die Oberseite.

Die Verjüngung ist also als durchaus dynamisch einzustufen. Bei mehr als 700 gut entwickelten Pflanzen, die den Aufnahmeprotokollen nach sehr gleichmäßig unter dem geschlossenen Kronendach des Baumbestandes verteilt waren, kann von einem "Hockenbleiben" der Verjüngung keine Rede sein.

Die hohen Pflanzenzahlen und der gute Entwicklungszustand eines ausreichenden Teils von ihnen weisen zugleich auf die untergeordnete Bedeutung der Konkurrenzvegetation hin;

eine erstaunliche Tatsache, denn der Boden war mit Gaultheria-Gestrüpp total überzogen. Dieses Gestrüpp hätte sich mit den entwickelten Aufnahmeverfahren nicht quantitativ beschreiben lassen, hier wäre stichprobenweise Abernte mit anschließender Bestimmung des Trockengewichts in Frage gekommen, was angesichts der Abgelegenheit der Parzelle technisch viel zu aufwendig ausgefallen wäre. Im übrigen wären derartige Ergebnisse unvergleichbar mit den bisherigen Resultaten gewesen.

Zusammenfassend läßt sich die Parzelle NAHUELBUTA I als eindrucksvolles Beispiel eines natürlichen Plenterwaldes aus Nothofagusarten bezeichnen. Einbezogen in diese Plenterstruktur ist ein dynamisches Verjüngungsgeschehen, obwohl der darüberstehende Baumbestand keinerlei Zeichen einer altersbedingten Zerfallsphase zeigt. Das legt den Schluß nahe, daß es sich bei dem infragestehenden Waldbild nicht nur um eine Durchgangsphase durch ein Plenterstadium handelt, sondern um eine Art Klimaxstruktur.

Die aktive Beteiligung der Baumart Raulí in allen Straten dieses Gefüges läßt ihre Einstufung als ausgesprochene Lichtholzart (ORTIZ, 1957; VALENZUELA, 1967, BRUN 1969) fraglich erscheinen. Auf diese Problematik wird an anderer Stelle näher einzugehen sein.

2.24 Urwaldparzelle LOS CHENQUES

2.241 Beschreibung

Die Parzelle LOS CHENQUES liegt in dem gleichnamigen Fundo in der Andenkordillere bei $37^{\circ} 40' S$ und $71^{\circ} 30' W$ zwischen 650 und 700 m Meereshöhe an einem leichten Osthang.

Dem Vegetationsbild nach ähnelt sie der auf etwa gleicher geografischer Breite gelegenen Urwaldparzelle NAHUELBUTA I stark. Den Waldbestand bilden die selben Nothofagusarten, Raulí, Roble und Coigüe, wenngleich in anderem Mischungsverhältnis. Auch die Strauchschicht setzt sich im wesentlichen aus den gleichen Arten zusammen; der Bestand kann demzufolge den sommergrünen Laubwäldern der gemäßigten Zone

nach SCHMITHÜSEN zugeordnet werden. Dabei macht er einen kontinentaleren Eindruck, als die sehr viel höher gelegene Parzelle NAHUELBUTA I. Fanden sich im letztgenannten Bestand noch manche Ausläufer des Valdivianischen Regenwaldes in der Strauchschicht (Fuchsia magellanica, Maytenus magellanica) so verschwinden diese nun fast vollständig. Entsprechend tritt auch Coigüe mehr in den Hintergrund. Die Baumhöhen des Oberstandes bleiben meist etwas unter 30 m, ein Coigüe erreichte rd. 33 m.

Vom Bestandesaufbau her ließen sich einige Uraltexemplare von Coigüe ausmachen und mehrere umgestürzte Raulí- und Coigüe-Stämme der gleichen Generation, die offenbar einem Unwetter zum Opfer gefallen waren. Menschliche Einflüsse wie Feuer oder Axtspuren wurden nicht gefunden. Zwischen die Überbleibsel der 1. Generation hatte sich eine Folgegeneration vorwiegend aus Raulí geschoben, die nun das Bild bestimmte.

Ein Zwischenbestand war praktisch nicht vorhanden, weder von Schattholzarten noch von Nothofagus ssp. . Dagegen war die Strauchschicht dicht durchsetzt mit Verjüngungspflanzen von N. alpina und N. dombeyi. Insgesamt machte der Wald einen lichtereren Eindruck, die Stammformen waren schlechter, die Leistung schien geringer und der Bestandesaufbau weniger stabil, als im Vergleichsbestand NAHUELBUTA.

2.242 Aufnahmeergebnisse

Baumbestand

Stammzahlen und Kreisflächenanteile in der Untersuchungsfläche von 1 ha Größe weist Tabelle 26 aus.

Baumart	Stammzahl/ha	Kreisfläche	
		m ² /ha	%
Raulí	113	14.8	43
Coigüe	50	17.8	51
Roble	32	2.1	6
Summe	195	34.7	100

Tab. 26 Stammzahlen und Kreisflächenanteile der Baumarten in der Urwaldparzelle LOS CHENQUES

Der geringen Stammzahl entspricht eine relativ hohe Kreisfläche, die absolut gesehen jedoch weit hinter den bisher behandelten Parzellen zurückbleibt.

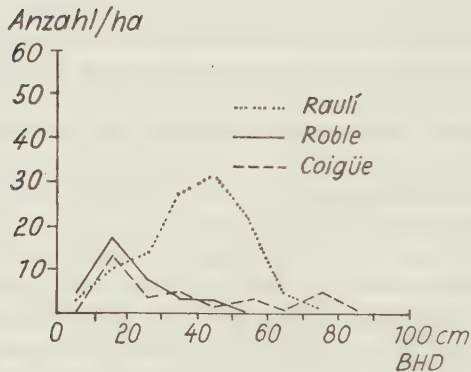


Abb. 34 Durchmesserverteilung in der Urwaldparzelle
LOS CHENQUES

Über die Durchmesserverteilung gibt Abb. 34 Auskunft. Darin zeigen weder Raulí noch Coigüe Ähnlichkeit mit dem Kurvenbild des Plenterbestandes in NAHUEL BUTA (Abb. 33). Vielmehr läßt sich die gleiche Grundtendenz erkennen wie in den Parzellen, in denen N. alpina und N. dombeysi nur auf die Oberschicht beschränkt waren: Raulí erscheint annähernd in Normalverteilung mit einem Gipfel bei 45 cm

BHD, während sich Coigüe ziemlich gleichmäßig über den gesamten Durchmesserbereich verteilt mit leichter Präferenz der BHD-Klasse 15. Die Roble-Kurve ähnelt im schwachen Durchmesserbereich stark der Coigüe-Verteilung, reicht aber längst nicht so weit ins Starke hinein wie diese.

Verjüngung

Die Verjüngungsinventur wurde nach dem gleichen Verfahren wie in NAHUELBUTA I durchgeführt. Tabelle 27 gibt die Pflanzenzahlen getrennt nach Baumarten an.

Baumart	Dichte Pfl/ha	Standard- fehler	S %
Raulí	10.188	+ 1012	9.9
Coigüe	13.276	+ 1796	13.5
Roble	600	+ 40	6.7

Tab. 27 Individuenzahlen in der Verjüngungsschicht der Urwaldparzelle LOS CHENQUES

Die Verjüngung in dieser Urwaldparzelle besteht aus Kernwüchsen und ist ganz ungewöhnlich zahlreich. Mit rd. 24.000 Nothofaguspflanzen pro ha erreicht sie die 3fache Individuendichte der Verjüngungsetage von NAHUELBUTA. Entwicklungsmäßig bleibt sie dagegen leicht hinter der letztgenannten Fläche zurück. Tab. 28 zeigt die Zahl der zukunfts-tüchtigen Pflanzen und ihren Anteil an der Gesamt-population der jeweiligen Art.

Baumart	Zahl der zukunfts- tüchtigen Pflanzen	% aller Individuen dieser Baumart
Raulí	429	4.2
Coigüe	286	2.2
Roble	11	1.8

Tab. 28 Ergebnis der Qualitätsstudie im Rahmen der Verjüngungsinventur (LOS CHENQUES)

Während Raulí in der Gesamtzahl hinter Coigüe rangiert, übertrifft er diesen hinsichtlich seines Entwicklungsstandes weit. Roble ist ähnlich wie in Nahuelbuta nur unbedeutend an der Verjüngung beteiligt. Angesichts des starken Verjüngungspotentials im bodennahen Bereich verwundert die geringe Zahl an "Aufsteigern", die den leeren Raum bis zum unteren Kronensaum des Baumbestandes ausnutzen.

Mechanisch gesehen stellt die Konkurrenzvegetation aus Epacrydaceen und Hartlaubsträuchern sicher kein entscheidendes Hindernis dar, denn sie ist viel weniger üppig als in der Parzelle NAHUELBUTA. Hier scheint vielmehr die Wasserkonkurrenz durch Bestand und Strauchschicht dafür verantwortlich zu sein, daß die Verjüngung trotz augenscheinlich günstigen Lichtklimas entwicklungsmäßig leicht stagniert. Was die aktuelle Waldaufbauform betrifft, so scheint sie eher eine auslaufende Aufbauphase nach vorhergegangenen schädigenden Naturereignissen zu repräsentieren, als eine stabile Gefügeform.

2.25 Urwaldparzelle PARRAL

2.251 Beschreibung

Zum Abschluß dieses Abschnittes soll ein Waldbild an der nördlichen Grenze des Raulí-Areals auf Höhe des 36. Breitengrades beschrieben werden. Forstlich spielt Nothofagus alpina hier keine nennenswerte Rolle mehr, vielmehr dient die Einbeziehung dieser Parzelle der ökologischen Abrundung der hier dargestellten Beobachtungen.

Der Bestand liegt etwa bei 36° 15' S und 71° 45' W in der Vorkordillere der Anden auf 500 - 600 m Höhe.¹⁾

Das hervorstechende Merkmal dieses extrem nördlichen

1) Man gelangt zu diesem Bestand, indem man von Parral in der Provinz Linares ost-südostwärts etwa 25 km über die Kolonie "Dignidad" hinaus bis in eine kleine Indianersiedlung fährt, von der aus er durch einen Fußmarsch zu erreichen ist.

Raulí-Vorkommens ist seine markante Abhängigkeit von der Exposition des Standortes. Es handelt sich um einen steilen, halbkegelförmigen Hang, der zunächst Westexposition, dann Süd- und schließlich Ostposition einnimmt. Folgt man dieser Sequenz verschiedener Expositionen, so kommt man anfangs durch einen Reinbestand von Nothofagus glauca (PHIL) KRASSER (= Hualo), einer laubabwerfenden Nothofagusart, die dem Roble nahesteht und nur ein kleines Areal in Anden- und Küstenkordillere etwa zwischen 36° und 35° S innehat. Mit ihren harten, schmirgelpapierartigen Blättern ist sie auch stärkster Sonneneinstrahlung gegenüber relativ unempfindlich und findet sich dementsprechend als einzige Baumart in sonnenzugewandten Lagen.

Mit zunehmendem Expositionsübergang nach Süden hin tauchen zunächst Arten wie Lomatia hirsuta DIELS. (= Radal) und Gevuina avellana (Avellano) im Unterstand auf. Es folgt eine schmale Übergangszone von N. glauca zu N. alpina, der in genauer Südlage den Hualo ganz ablöst, um ihm später, wenn der Hang sich mehr dem Westen zukehrt, wieder das Feld zu überlassen.

Die Raulí-Zone selbst zeigt folgende Waldstruktur: Die Oberschicht bildet N. alpina, beigemischt sind einige wenige Exemplare von N. glauca und N. dombeyi.

Eine zweite stark ausgeprägte Baumschicht bilden Persea lingue (= Lingue), Aextoxicon punctatum (= Olivillo), Gevuina avellana (Avellano) und Laurelia sempervirens (= Laurel).

Schließlich existiert eine 3. Etage vorwiegend aus Verjüngung der Schattbaumarten wie Avellano, Avellanillo, Lingue, Olivillo und Canelo, locker durchmischt mit Chusquea-Bambus. Nothofagusverjüngung wurde nicht gefunden. Nach Stammformen, Baumhöhen (25 - 30 m) und Brusthöhen-durchmesser (35 - 55 cm) war dieser Raulí-Bestand über Erwarten wüchsig. Den begleitenden Baumspezies nach und in seinem "valdivianischen Artenreichtum" trifft er recht genau in die von OBERDORFER, 1960, ausgeschiedene

Assoziation des Nothofago-Perseetum (Valdivianischer Sommer-Lorbeerwald)¹⁾, dessen Vordringen bis zum 36. Breitengrad wohl als eine Ausnahme bezeichnet werden kann, die der besonderen Erwähnung wert ist.

Wegen der Kürze der für die Außenaufnahmen insgesamt verfügbaren Zeit konnte diese abgelegenste aller Parzellen nicht in das volle Aufnahmeprogramm mit einbezogen werden, zumal sie im Sinne der hier vorgenommenen Typenausscheidung keine selbständige Stellung einnahm.

1) Eine Eingliederung des beschriebenen Waldtyps in das SCHMITHÜSEN'sche Ordnungsschema stößt insofern auf Schwierigkeiten, als dieser den Valdivianischen Regenwald dem Vegetationsgebiet 8 = immergrüne (patagonische) Regenwälder zurechnet. Für die temperierten Sommerwälder (Veg.-gebiet 7) ist der beschriebene Bestand andererseits zu valdivianisch, ohne deswegen gleich ein immergrüner Regenwald zu sein.

2.26 Ergebnisse der Bodenanalysen

Die Bestandes- und Verjüngungsanalyse der ausgewählten Nothofagus-Urwaldbestände hatte fundamentale Unterschiede nicht nur in der Baumartenzusammensetzung, sondern auch in der Waldstruktur und der Grundflächenhaltigkeit der Bestände erbracht. Zur besseren Beurteilung dieser Unterschiede erschienen Bodenanalysen unerlässlich, zumal schon bei der Erkundungsreise offenbar wurde, daß die angetroffenen Böden ihrer Entstehung nach zwei verschiedenen Gruppen zugeordnet werden mußten. Bildeten in ARQUILHUE und NIBLINTO vulkanische Aschendecken das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung, so bestimmten in NAHUELBUTA und LOS CHENQUES kristalline Materialien (Granodiorit) die Bodendynamik. Das Ergebnis waren im erstgenannten Fall sogenannte Trumao-Böden, entstanden aus andesitischen Feinaschesedimenten, und im letztgenannten Fall gut entwickelte Braunerden, die durchaus mit den hiesigen Braunerden über Granitgestein verglichen werden können. Hinsichtlich der Besonderheiten von Trumaoböden, ihrer Differenzierung und Verbreitung sei auf v. BUCH, 1970, verwiesen, der den Einfluß vulkanischer Eruptionen auf die Böden Südschiles ausführlich schilderte¹⁾.

1) Danach fallen die Böden in ARQUILHUE und NIBLINTO in die Gruppe der "Steilhang-Trumaos der humiden Anden", LOS CHENQUES (und mutmaßlich auch PARRAL) in die Gruppe der Steilhang-Pulver-Trumaos der subhumiden Anden, deren vulkanische Decken jedoch nicht geschlossen sind, so daß das darunterliegende Gestein stellenweise Einfluß auf die Bodenbildung gewinnt. Das ist Granit im Falle von LOS CHENQUES; vergl. hierzu auch geologische Karte des INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR (1970). NAHUELBUTA, schließlich, ist der v. BUCH'schen Gruppe 8 zuzuordnen, nämlich den Quarzdiorit-Verwitterungsböden mit geringer oder fehlender Aschebeeinflussung.

2.261 Probenentnahme

Nach einer vom Institut für forstliche Bodenkunde der Universidad Austral de Chile ausgearbeiteten Anweisung wurden in den Urwaldparzellen ARQUILHUE, NIBLINTO, NAHUELBUTA und LOS CHENQUES Bodeneinschläge von ca. 1,30 Tiefe angelegt; aus den Profilen wurden im Anhalt an die jeweils vorgefundene Horizontierung in der Regel 5 Bodenproben entnommen und mit genauen Angaben über Entnahmetiefe und Ursprungshorizont versehen. Die Parzelle PARRAL, die aus schon genannten Gründen nicht in das volle Aufnahmeprogramm mit aufgenommen worden war, wurde auch im bodenkundlichen Teil nicht mit berücksichtigt.

2.262 Analyseergebnisse

Die Analysen wurden im o.a. Institut durchgeführt. MOLL, 1971/72, hat sie in einem Bericht an das Waldbauinstitut der Universidad Austral zusammengestellt (siehe Tabellen 29, 30, 31a, 31b).

1. Textur und Verwitterungsgrad

Für alle Profile wurden Korngrößenbestimmungen im Feinbodenbereich vorgenommen. Die Proben dafür entstammten sämtlich den B-Horizonten der Einschläge. Tab. 29 gibt die jeweilige Tiefenzone an, aus der die Proben entnommen wurden, sowie die für diese Zone festgestellte durchschnittliche Korngrößenverteilung.

Profil	Entnahme- tiefe cm	Sand 2.0-0.063 mm %	Schluff 0.063-0.002 mm %	Ton 0.002 mm %
ARQUILHUE	30 - 60	75.0	17.7	7.3
NIBLINTO	10 - 70	47.7	40.6	11.7
NAHUELBUTA I	30 - 100	64.1	19.7	16.2
LOS CHENQUES (Oberhang)	13 - 90	56.0	27.2	16.8
LOS CHENQUES (Unterhang)	17 - 80	54.5	18.5	27.2

Tab. 29 Korngrößenzusammensetzung in vier Bodenproben aus verschiedenen Urwaldparzellen.

ARQUILHUE zeigt trotz der Zuordnung der dortigen Böden zu den Aschenböden nicht den hohen Schluffanteil, der gemeinhin für Trumao-Böden charakteristisch ist. Die hier vorgefundenen Böden zeichnen sich durch einen sehr geringen Verwitterungsgrad aus.

NIBLINTO repräsentiert demgegenüber die für die Trumao-Böden typische Korngrößenverteilung. Die Verwitterung ist - bei ähnlichem Ausgangsmaterial - weiter fortgeschritten als in ARQUILHUE.

NAHUELBUTA und LOS CHENQUES zeigen eine für kristallines Ausgangsmaterial typische granulometrische Verteilung. Hier herrschen (grobe) Sandanteile eindeutig gegenüber den Schlufffraktionen vor, bei mittleren Tongehalten, die in dem Profil am Unterhang naturgemäß höher ausfallen.

2. pH-Werte

Zugrundegelegt ist hier der Bereich von 0 - 60 cm Bodentiefe innerhalb der Profile.

Tab. 30 zeigt durchschnittliche pH-Werte aus diesem Tiefenbereich.

Profile	pH-Werte
ARQUILHUE	5.2
NIBLINTO	5.3
NAHUELBUTA I	5.2
LOS CHENQUES (Oberhang)	5.2
LOS CHENQUES (Unterhang)	5.1

Tab. 30 pH-Werte von Bodenproben aus 4 verschiedenen Urwaldparzellen

ARQUILHUE zeigt bei der Vielzahl der dort untersuchten Profile einen Schwankungsrahmen von pH 4,8 - 5,7; in der Tabelle findet sich der Mittelwert aus 5 Bodeneinschlägen.

Im übrigen liegen die festgestellten Werte in einem engen Rahmen zwischen pH 5,1 und pH 5,3 und repräsentieren damit einen für Waldböden günstigen Basensättigungsbereich.

3. Humusgehalt und C:N-Verhältnis

Die Anteile an organischer Substanz in den verschiedenen Bodenproben wurden hergeleitet durch Multiplikation des Kohlenstoffgehaltes mit dem Faktor 2 (s. auch SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1970).

ARQUILHUE: Die lockere Schüttung des Aschenmaterials begünstigt die Verfrachtung von organischer Substanz bis in große Tiefen. Die untersuchten Proben enthalten daher noch in 70 cm Tiefe mehr als 2 % organische Substanz.

Die C:N-Verhältnisse schwanken zwischen 14 und 21. Es überwiegt ein für Waldböden sehr günstiges Verhältnis von 14 bis 16.

NIBLINTO: Dieses Profil hat einen organischen Auflagehorizont von 5 cm Mächtigkeit, der 55 % organische Substanz enthält, bei einem relativ weiten C:N-Verhältnis von 22. Allerdings zeigt der organische Komplex eine hohe Kalziumsättigung (1220 mg/100 g bei pH = 5,4). Es kann also mit einer langsam forstschreitenden Streuzersetzung gerechnet werden, ohne daß weitere Rohhumusakkumulierung zu befürchten ist. Der Ah₁-Horizont enthält noch 29 % organische Substanz, ein Anteil, der nach unten hin kontinuierlich abnimmt bis auf 9 % in 60 cm Tiefe. Das C:N-Verhältnis in diesen Bereichen liegt bei 17.

NAHUEL BUTA I: Hier ist der O-Horizont nur 2 cm mächtig und enthält 33 % organische Substanz. Es folgt der Ah₁ mit 22 % und eine kontinuierliche Abnahme bis auf 9 % in 60 cm Tiefe.

Die festgestellten C:N-Verhältnisse liegen im Mittel bei 19,6 und damit an der Obergrenze des günstigen Bereiches.

LOS CHENQUES: Oberhang und Unterhangprofil weisen hier keine nennenswerten Unterschiede auf. In den obersten 15 cm der Profile liegt der Humusanteil bei 25 %, um dann bis zur Tiefe von 60 cm auf 10 % abzusinken. Die C:N-Verhältnisse von 23.9 bzw. 25.2 sind im Verhältnis zu den vorgenannten Proben weit und bereits jenseits des als günstig zu bezeichnenden Bereiches.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß allen untersuchten Böden ein relativ hoher Humusanteil gemeinsam ist, der bis in größere Tiefen reicht. Das liegt einmal an der großen Porosität der Bodenmaterialien und zum anderen an dem hohen Niederschlagsdruck, der mit abnehmender Intensität von Süd nach Nord auf die Böden einwirkt.

4. Nährstoffe

Bei der Nährstoffanalyse wurden durch 3 % HCl-Extraktion die Vorräte bestimmt und durch Extraktion mit 1 % NH₄Cl die unmittelbar pflanzenverfügbaren Anteile davon ermittelt. Zur Klärung der Nachhaltigkeit des Nährstoffangebotes wurden bei beiden Analysearten Mehrfachextraktionen durchgeführt; jede Bodenprobe wurde dabei fünfmal hintereinander extrahiert, um auf diese Weise Anhaltspunkte für die Erschöpfungstendenz zu gewinnen.

Nr. der Extraktion	mg P/100g Boden					mg K/100g Boden					mg Ca/100g Boden					mg Mg/100g Boden					mg Fe/100g Boden					
	1					2					3					4					5					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
ARSULHUE																										
O - 12cm	59	13	11	8	6	58	20	9	6	6	855	133	169	125	115	323	16	13	12	10	931	66	76	105	55	
Ab1 - 12cm	79	13	7	6	6	110	20	9	6	7	635	168	184	135	112	259	18	13	12	10	1090	92	96	89	64	
B/C1g - 40 - 50cm	26	2	1	2	1	51	18	9	6	6	155	78	74	63	60	20	11	11	10	8	223	66	77	56	49	
B/C2(g) - 58 - 95cm	51	3	2	2	1	43	18	9	6	7	215	88	96	78	79	70	14	11	11	9	665	66	106	99	7	
NIBLINTO																										
O - 5cm	131	18	19	16	11	133	20	10	5	5	1450	58	46	42	41	153	14	14	7	7	1596	39	42	33	19	
Ab1 - 5cm	16	16	15	11	8	65	19	6	6	6	755	41	43	48	51	118	18	12	11	10	3138	276	196	89	64	
Ab2 - 10 - 30cm	265	46	10	6	5	43	21	8	6	7	115	53	56	59	64	177	31	15	13	13	3337	519	193	125	113	
B/C1g - 40 - 60cm	112	36	18	5	2	46	18	9	7	5	30	45	46	59	55	213	20	14	11	8	4335	645	196	128	56	
B/C2 - 60 - 70cm	210	36	14	9	6	46	18	9	7	6	195	47	46	54	59	95	21	14	11	11	3351	421	153	102	95	
B/C3 - 70cm	168	40	7	4	n.a.	35	20	11	8	n.a.	85	45	49	48	n.a.	223	40	19	14	n.a.	4495	803	279	138	n.a.	
MAHTELENTA																										
Ab1 - 15cm	144	39	17	13	7	300	113	22	9	8	260	45	41	35	38	225	85	19	13	10	3803	724	219	115	57	
Ab2 - 15 - 30cm	126	34	14	9	6	295	130	22	10	9	195	41	36	31	39	248	104	19	13	11	3936	763	212	109	65	
Ab3 - 30 - 50cm	129	38	11	8	5	300	141	22	9	9	110	41	36	31	39	248	104	19	13	11	4415	802	232	115	72	
B/C1g - 50 - 80cm	123	34	9	6	4	298	170	25	10	8	108	38	36	33	39	720	145	20	13	10	4571	684	206	109	61	
B/C2 - 80 - 100cm	112	38	9	6	4	300	198	25	9	8	95	38	36	33	38	755	184	21	13	10	4761	1332	219	199	88	
LOS CHENQUES																										
Ab1 - 0 - 15cm	91	27	14	9	5	58	19	11	9	8	124	50	46	46	51	298	33	17	13	11	3005	592	296	102	68	
Ab2 - 15 - 30cm	85	22	12	8	4	24	20	9	9	7	90	50	46	46	51	295	35	17	13	12	3404	658	342	171	107	
B/C1g - 30 - 40cm	11	26	11	8	4	40	21	9	7	6	80	48	43	40	43	368	38	18	14	12	3883	776	379	191	109	
B/C2 - 40cm	101	36	13	8	4	35	21	9	8	8	50	35	34	30	35	410	54	21	14	13	4176	1066	386	194	124	

Tab. 1: 3 Ergebnisse der Bodenanalysen aus vier Urwaldparzellen hinsichtlich der Nährstoffvorräte (3 % HCl.)

Nr. der Extraktion	mg K/100g Boden					mg Ca/100g Boden					mg Mg/100g Boden				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<u>APQUILONE</u>															
0	32	6	1	2	2	236	84	60	51	45	20	8	4	3	2
Ah1	13	3	1	3	2	146	48	34	23	20	9	3	2	1	1
B/C1g	2	1	1	2	2	18	8	13	7	5	2	1	1	1	1
B/C2g	4	1	1	2	2	25	12	11	8	6	3	2	2	1	1
<u>NIEBLINTO</u>															
0	62	28	11	6	3	434	216	144	142	113	55	25	13	10	6
Ah1	28	9	2	2	2	108	53	28	24	18	13	6	3	2	2
Ah2	9	2	1	1	1	22	13	9	12	8	3	2	1	1	1
Bv1	6	1	1	1	1	9	7	5	8	6	3	2	1	1	1
Bv2	13	4	1	2	1	59	29	18	16	12	6	3	1	2	1
Bv/Cv	2	1	1	2	1	9	8	7	8	8	2	2	1	1	1
<u>MANULIBUIA</u>															
Ah1	16	7	2	3	2	94	43	21	27	18	7	4	2	3	2
Ah2	14	3	2	2	2	42	20	10	21	14	4	2	2	2	2
Ah3	11	4	1	2	2	19	11	8	15	10	3	2	1	1	1
Bv1	10	3	1	2	2	10	8	6	13	8	3	2	1	2	1
Bv2	10	3	1	2	2	10	7	4	13	3	2	2	1	1	1
<u>ICS OHEMUS</u>															
Ah1	17	5	3	2	1	20	14	14	10	6	4	2	2	2	1
B1	8	2	3	2	1	10	6	9	6	5	2	1	1	1	1
Bv1	5	2	2	2	2	7	6	9	6	4	1	1	1	1	1
Bv2	4	2	4	2	2	7	6	9	7	4	1	1	1	1	2

Tab. 31 b Ergebnisse der Bodenanalysen aus 4 Urwaldparzellen bezüglich der pflanzenverfügbaren Nährstoffanteile (1 % NH_4Cl)

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 31 a und 31 b dargestellt und können wie folgt interpretiert werden:

a) Nährstoffvorräte und ihre Nachhaltigkeit (3 % HCl-Extraktion).

Am deutlichsten werden die Verhältnisse, wenn man eine Gruppierung nach der Nachhaltigkeit der Nährstoffreserven vornimmt, wobei die Parzellen in abnehmender Reihenfolge von I bis IV angeordnet wurden:

Phosphor	Kalium	Magnesium	Kalzium	Eisen
I NIBLINTO	NAHUELBUTA	NAHUELBUTA	ARQUILHUE	LOS CHENQUES
II NAHUELBUTA	LOS CHENQUES	LOS CHENQUES	NIBLINTO	NAHUELBUTA
III LOS CHENQUES	NIBLINTO	NIBLINTO	LOS CHENQUES	NIBLINTO
IV ARQUILHUE	ARQUILHUE	ARQUILHUE	NAHUELBUTA	ARQUILHUE

Für die Differenzierung sind zwei Gesichtspunkte entscheidend: Einmal spielt das Ausgangssubstrat (Aschen bzw. Granit) eine Rolle. Zum anderen ist der Grad der Verwitterung und damit der Bodenentwicklungsstand von großer Bedeutung und kann den vorgenannten Einflußfaktor u.U. sogar überdecken.

In diesem Sinne läßt sich die Reihenfolge bezüglich des Elementes Eisen gleichzeitig als eine Sequenz abnehmenden Verwitterungsgrades auffassen. Demnach verfügen LOS CHENQUES und NAHUELBUTA I (Granitböden) über eine sehr fortgeschrittene Bodenentwicklung.

Auch die Ascheböden von NIBLINTO zeigen schon einen recht guten Entwicklungsstand, während ARQUILHUE unter dem direkten Einfluß des bis in neuere Zeit (1864) tätigen Vulkans Choshuenco noch über sehr schwach entwickelte Böden verfügt.

Bei Kalzium ist die Reihenfolge gegenläufig zum Verwitterungsgrad.

Bezüglich der Kalium- bzw. Magnesium-Vorräte ist die Situation gleich und läßt sich nicht mehr allein mit dem Verwitterungsgrad erklären; denn die wesentliche Zäsur liegt zwischen NAHUELBUTA einerseits und LOS CHENQUES, NIBLINTO und ARQUILHUE andererseits. Die Phosphorreserven sind beim entwickelten Aschenboden (NIBLINTO) am höchsten. Es folgen die Granitböden und schließlich die weniger verwitterten Aschenböden.

- b) Unmittelbar pflanzenverfügbare Teil (1 % NH_4Cl).
Für die Beziehungen zwischen Boden und aktuellem Pflanzenkleid sind die Ergebnisse der NH_4Cl -Extraktion von größerem Interesse, als die Analyse der Vorräte, denn bei dieser Methode handelt es sich näherungsweise um eine Simulation der physiologischen Nährstoffaufnahme. Diese Simulation wird häufig auch durch Auszug mit 1 %iger Zitronensäure vorgenommen, es hat sich jedoch herausgestellt, daß bei Böden nahe des Neutralbereiches speziell die Calcium- und Magnesiumanteile zutreffender mit NH_4Cl als mit der sonst üblichen 1 %igen Zitronensäure bestimmt werden können (MOLL, 1964).

Nach den Analyseergebnissen (Tab. 31 b) ergibt sich die nachstehende Reihenfolge:

	Kalium	Kalzium	Magnesium
I	NIBLINTO	NIBLINTO	NIBLINTO
II	NAHUELBUTA	ARQUILHUE	ARQUILHUE
III	LOS CHENQUES	NAHUELBUTA	NAHUELBUTA
IV	ARQUILHUE	LOS CHENQUES	LOS CHENQUES

- NIBLINTO steht bezüglich der drei aufgeführten Elemente mit einigem Abstand an der Spitze, wodurch die Überlegenheit (Stammzahl, Kreisfläche) gegenüber der klimatisch sicher nicht ungünstiger gelegenen Urwaldparzelle ARQUILHUE verständlich wird.
- Die Unterschiede zwischen NAHUELBUTA und ARQUILHUE sind weniger markant. Während die Kalzium- und Magnesiumanteile in ARQUILHUE höher liegen, ist NAHUELBUTA bezüglich des Kaliumanteils überlegen. Insgesamt sind die Unterschiede aber keineswegs so bedeutsam, daß sich daraus die grundlegend andere Baumartenzusammensetzung und Waldaufbauform erklären ließe. Hier müssen Einflüsse (groß-), klimatischer Art ausschlaggebend sein¹⁾, was endgültig erst nachgewiesen werden kann, wenn Klimadaten für die Forstreserve Malleco und den Nationalpark Nahuelbuta zur Verfügung stehen.
- LOS CHENQUES zeigt allgemein gegenüber Nahuelbuta geringere Nährstoffanteile. Damit mag die unterschiedliche Wüchsigkeit der beiden Bestände, die bei gleicher Baumartenzusammensetzung auch in der Bestandesstruktur von einander abwichen, eine zusätzliche Erklärung finden. An anderer Stelle war darauf hingewiesen worden, daß die beiden Parzellen zwar auf gleicher Breite, jedoch auf ganz unterschiedlichen Meereshöhen liegen, so daß sie auch klimatisch als verschieden anzusehen sind.

1) Auch mit expositionsbedingten Unterschieden können die voneinander abweichenden Waldbilder nicht erklärt werden. Beide Parzellen waren sanft nach Süd-Osten bzw. Osten geneigt.

2.3 Verjüngungsanalysen in gestörten Waldbildern

Während im vorigen Abschnitt die Verjüngungssituation und ihre Entwicklungstendenzen in einigen vom Menschen unberührten Primärwäldern dargestellt wurden, sollen in diesem Abschnitt Beobachtungsergebnisse über das Verjüngungsverhalten nach mehr oder weniger zerstörerischen menschlichen Eingriffen in die ursprünglichen Waldbilder vom Coigüe-Raulí-Typ mitgeteilt werden. Schon in der Einleitung wurde darauf hingewiesen, daß die gestörten Waldbilder innerhalb der Bergwaldzone von Raulí heute gegenüber den Resten intakter Primärwäldern weit überwiegen. Für den natürlichen Wiederaufbau dieser gestörten Waldflächen sind die Ausgangsdichte und das Durchsetzungsvermögen der an der Verjüngung beteiligten Baumarten von ausschlaggebender Bedeutung. In diesem Durchsetzungsprozeß spielen neben der schon behandelten Frage der Konkurrenzvegetation in der Verjüngungsebene nunmehr auch die Veränderungen im Kronendach, die u.a. zu ganz unterschiedlichen Belichtungsverhältnissen führen, eine wichtige Rolle.

2.31 Typische Formen menschlicher Eingriffe und Auswahl von Beispielsflächen.

Die Formen des zerstörerischen Eingriffs sind mannigfaltig und können hier sicher nicht in allen möglichen Abstufungen wiedergegeben werden. Während der Beschäftigung mit der Thematik der primären und sekundären Raulí-Wälder ließen sich jedoch vier verschiedene Interventionsformen klar herausstellen und mit entsprechenden Beispielsflächen belegen. Sie werden in Tab. 32 genauer definiert, außerdem sind dort den unterschiedlichen Eingriffsformen die entsprechenden Beispielsflächen unter Angabe der geografischen Lage, Meereshöhe und Exposition zugeordnet. Sie sollen in der gleichen Reihenfolge abgehandelt werden.

Lfd.Nr.	Art der Eingriffe	Zerstörungsgrad	Beispielfläche	Geogr.Lage	Meereshöhe	Exposition
1	Brandrodung zwecks Urbarmachung und landwirtschaftl. Nutzung mit anschließendem Wüstfallen	totalzerstört	HUEINAHUE	40° 18' S 71° 59' S	600	eben
2	Totalexploitation im Falle von Beständen, die ganz oder überwiegend aus nutzungswürdigen Holzarten zusammengesetzt waren	totalzerstört	TRAFUN NAHUELUTA II	39° 35' S 71° 55' W 37° 50' S 73° W	900 1150	ost sudwest
3	Gebrauch bzw. Mißbrauch von Feuer mit anschließendem Auszug alles verwertbaren Holzes	totalzerstört	LLAIMA ARQUILHUE	38° 45' S 71° 35' W 40° 5' S 71° 55' W	925 700 - 850	südost sud
4	Teilexploitation in Mischbeständen mit lohnendem Prozentsatz nutzungswürdiger Holzarten	teilzerstört	ARQUILHUE	dito	dito	dito

Tab. 32 Einteilung der gestörten Waldbilder nach Art der Eingriffe und Zuordnung von Beispielflächen

2.32 HUEINAHUE

2.321 Beschreibung der Parzelle

Es handelt sich um eine terrassenförmige Ausweitung im Tale des Gebirgsflusses HUEINAHUE, der später in den Maihue-See mündet. Berghänge, bewaldet mit Beständen des Typs Raulí-Coigüe, umgeben diese Terrasse; sie hatte sich offenbar in besonderem Maße angeboten zur Niederlassung eines colonos (Siedlers), dem sie inmitten eines unwirtlichen Geländes gerade Platz für ein kleines Holzhaus und die zur Erhaltung seiner Existenz notwendige Wirtschaftsfläche bot. Die Fläche war in einem inneren Kreis von ca. 3 ha um die noch feststellbare Behausung herum total gerodet und in Gras- und Gartenland überführt worden. Ein äußerer Kreis, der noch die Unterhangpartie des angrenzenden Talhanges mit einbegriff, war ebenfalls gerodet, jedoch unter Belassung einiger Altbäume; dieser Teil hatte offenbar als Weidefläche gedient. Aus unbekannten Gründen war das Anwesen dann vor etwa 20 Jahren aufgegeben worden. Der umgebende Urwald glich im großen und ganzen dem in ARQUILHUE vorgefundenen Bild, mit Raulí und Coigüe im Oberstand und Tepa in der zweiten Etage. Darunter befand sich, vor allem im Talbereich, Coligüe-Dickicht bisher unbekannter Üppigkeit, das praktisch keine Verjüngung hatte hochkommen lassen.

Der ehemals bewirtschaftete Teil war dagegen wiedererobert worden von einer mittlerweile 3 - 6 m hohen Baumverjüngung der Arten Raulí, Coigüe und Tepa, ohne nennenswerte Konkurrenzvegetation von Chusquea-Bambus oder Sträuchern. Hier wurde die im folgenden beschriebene Aufnahme durchgeführt.

2.322 Aufnahmeergebnisse

Anhand einiger Stichproben wurde der Altersrahmen innerhalb der Verjüngung für alle beteiligten Baumarten festgestellt. Die Proben, in 20 cm über dem Erdboden entnommen,

ergaben das folgende Bild (Tab. 33).

Art	Raulí		Coigüe			Tepa		
Durchmesser in cm	7	6	2	4	6	2	4	6
Zahl der Jahrringe	7	12	10	12	8	8	15	18

Tab. 33 Ergebnisse einiger Stichproben zur Altersbestimmung in der Verjüngungsfläche HUEINAHUE.

Diese wenigen Proben mögen genügen für die Altersschätzung des Gertenholzes, das als im Mittel etwa 15jährig bezeichnet werden kann, mit einer für natürliche Verjüngungsprozesse geringen altersmäßigen Schwankungsbreite von + 10 Jahren. Diese Schwankungsbreite manifestiert sich mehr oder weniger bei allen drei Baumarten, so daß man zeitlich gesehen von etwa gleichen Startbedingungen ausgehen kann.

Die eigentliche Verjüngungsinventur erfolgte auf Probekreisbasis innerhalb einer Fläche von 110 x 70 m bei einem Flächenaufnahmeprozent von 10. Tabelle 34 gibt im linken Teil die Individuendichte für alle drei Arten an, mit den entsprechenden Stichprobenfehlern. Raulí, Coigüe und Tepa sind mit hoher Individuenzahl vertreten, und zwar ausschließlich in Form von Kernwüchsen. Wegen des Fehlens von Konkurrenzvegetation und Überschirmung war es zu einer ziemlich homogenen Verteilung der Verjüngung über die ganze Fläche gekommen mit wenigen kleinen, grasbewachsenen Fehlstellen im Zentrum der Rodung. Interessant ist die Qualitätsabstufung innerhalb der Baumarten, die einen wichtigen Hinweis auf ihr jeweiliges Durchsetzungsvermögen gibt. Die entsprechenden Ergebnisse finden sich im rechten Teil der Tabelle.

Baumart	Dichte Pfl./ha	S %	davon "zukunftsstüchtig"	
			Pfl./ha	%
Raulí	6.720	11,2	910	13,5
Coigüe	4.080	17,5	442	10,8
Tepa	7.480	17,6	720	9,8

Tab. 34 Individuendichte und Zahl der "zukunftsstüchtigen" Pflanzen in der Verjüngungsfläche HUEINAHUE.

Die Situation läßt sich wie folgt zusammenfassen:
 Die Zerstörung des Primärwaldes auf kleiner Fläche mit anschließender zeitweiser landwirtschaftlicher Nutzung hat im Falle der Parzelle HUEINAHUE (am südlichen Rand des Verbreitungsgebietes von N. alpina) zu keiner bleibenden Schädigung geführt. Im Gegenteil: Durch Vernichtung der Konkurrenzvegetation von Chusquea coleu hat sich bei vollem Lichtgenuß in kürzester Zeit eine üppige gleichaltrige Baumverjüngung eingestellt, in der die drei Arten des ehemaligen Altbestandes vertreten sind. Zahlenmäßig ist Tepa am stärksten vertreten; sie hat sich bisher auch gut durchzusetzen vermocht. Ihre Eigenart als Schattholzart hindert sie offensichtlich nicht daran, auf volle Belichtung mit kräftigem Jugendwachstum zu reagieren. Bis zum Zeitpunkt der Aufnahme zeigt sie sich den Lichtholzarten in keiner Weise unterlegen. Raulí ist zahlenmäßig annähernd gleich vertreten, zeigt jedoch einen höheren Anteil an gutentwickelten Pflanzen. Schon unter der geschlossenen Überschildung der Urwälder des helleren Typs (NAHUELBUTA, LOS CHENQUES) hatte sich Raulí als sehr durchsetzungsfähig gezeigt, er behält diese Eigenschaft auch auf der unbeschilderten Fläche. Die Tatsache seiner schweren, kaum flugfähigen Samen hat ihn angesichts der kleinen, von Samenbäumen umgebenen Fläche bei der Wiederbesiedlung nicht benachteiligt. Coigüe war zahlenmäßig etwas schwächer vertreten.

Dem entsprach auch eine geringere Zahl von gut entwickelten Individuen. Nach dem gegenwärtigen Stand der Entwicklung ist nicht anzunehmen, daß er den wirtschaftlich wertvollen Raulí im Endbestand noch wesentlich zurückdrängen kann.

2.33 TRAFUN und NAHUELBUTA II

2.331 Beschreibung

Die Verjüngungsfläche im Exploitationsgebiet TRAFUN diente unter anderem als methodisches Studienobjekt und wurde entsprechend im 1. Kapitel beschrieben (siehe Abschnitt 1.22).

Mit ihr hat die Verjüngungsfläche NAHUELBUTA II nur die beteiligten Baumarten und das Schicksal einer Total-exploitation gemeinsam. Die letztgenannte Fläche liegt ca. 270 km weiter nördlich auf der südwestlich exponierten Kammseite des Nahuelbutagebirges im Grenzbereich zu dem einzigen größeren Vorkommen von Araucaria araucana (MOL). C. KOCH in der Küstenkordillere.

Im Zuge einer illegalen Okkupation des Nationalparkes Nahuelbuta um das Jahr 1940 war die Waldparzelle praktisch abgetrieben worden, wobei nur einige wenige Raulí- und Araukariestämme belassen worden waren. 1971 stockte dort bereits ein angehendes Stangenholz aus Stockausschlägen von Raulí¹⁾ und Coigüe-Kernwüchsen. Vereinzelt fand sich Robleausschlag. Dem Entwicklungsstand dieses wüchsigen Sekundärbestandes entsprechend wurde keine Konkurrenzvegetation gefunden.

1) Die alten Raulí-Stöcke waren noch sehr gut erhalten, um sie herum fand sich ein Kranz von bis zu 12 kräftigen Lohden, ein Hinweis auf die Ausschlagsfreudigkeit von N. alpina auf diesem Standort.

2.332 Aufnahmeergebnisse TRAFUN

Die Ergebnisse der Aufnahme wurden ausführlich im Abschnitt 1.421 geschildert und sollen hier nur noch einmal kurz zusammengefaßt werden.

Obwohl sich auf der exploitierten Fläche eine äußerst dichte Bambusvegetation entwickelt hatte mit ca. 85000 Rohren/ha und Höhen zwischen 3 und 6 m, war eine Nothofagusverjüngung in unerwartet hoher Individuenzahl gefunden worden. Raulí war mit rd. 4.700 Pflanzen/ha vertreten und Coigüe zeigte eine Besatzdichte von rd. 3.700 Stck/ha. Was die Verteilung über die 4 ha große Fläche angeht, so wies Coigüe einen extrem starken Klumpungsgrad auf ($q = 50$), und auch Raulí zeigte eine markante Tendenz zur Aggregation ($q = 16$).

Eine Qualitätsansprache der Verjüngung war seinerzeit nur innerhalb der Population von N. alpina durchgeführt worden. Dabei konnten 323 Bäume/ha (= 7 % aller Individuen) als zukunftsstüchtig qualifiziert werden.

Ihrer Entstehung nach handelt es sich bei der Raulí-Population ganz überwiegend um Kernwüchse, Stockausschläge kamen vereinzelt in der untersten Qualitätsstufe (bis 50 cm Höhe) vor.

2.333 Aufnahmeergebnisse NAHUELUTA II

Im Hinblick auf den fortgeschrittenen Entwicklungszustand der Verjüngung wurde für die Aufnahme ein Abstandsverfahren gewählt, das einerseits der Klumpungstendenz (Stockausschläge) Rechnung tragen mußte; auf der anderen Seite sollten Kreisflächeninformationen miterhoben werden, weil das qualitative Klassifizierungsverfahren, so wie es sich für das Jungwuchs- bis Gertenholzalter durchaus bewährt hatte, dem vorgefundenen Entwicklungsstand nicht mehr angemessen war. Die Entscheidung fiel auf die PRODAN'sche Sechs-Baum-Stichprobe, deren Anwendbarkeit in einem annähernd vergleichbaren Stangenholz in ARQUILHUE

seinerzeit erprobt worden war (siehe Abschnitt 1.411). Bohrspanproben hatten annähernd Gleichaltrigkeit von Raulí und Coigüe erbracht (siehe Tab. 35).

Baumart	Raulí			Coigüe		
Durchmesser in cm	15	20	30	10	15	25
Jahrringzahl in Brusthöhe	25	16	25	15	18	20

Tab. 35 Ergebnisse einer Stichprobe zur Altersbestimmung der Baumverjüngung in der Parzelle NAHUELBUTA II

Die Oberhöhe dieses Jungbestandes lag bei 16 m. In der Durchmesserentwicklung zeigte sich Raulí mit einem mittleren BHD von 10 cm der Mischpopulation von Coigüe/Roble deutlich überlegen (mittlere BHD 7 cm). Stammzahlen und Kreisflächenanteile finden sich in Tab. 36.

Baumart	Stammzahl/ha	S %	Grundfläche m ² /ha	S %
Raulí	2465	17,3	19.62	9,8
Coigüe u.a. ¹⁾	3851	14,4	14.76	14,0
Summe	6316		34.38	

Tab. 36 Stammzahlen pro ha und Kreisflächenanteile der Baumarten Raulí und Coigüe in der Parzelle NAHUELBUTA II

Überraschend ist die hohe Grundfläche, an der Raulí trotz geringerer Individuenzahl den größten Anteil hat. Das Stangenholz hat im Alter von + 30 bereits eine ebenso hohe Kreisfläche wie der Urwaldbestand im LOS CHENQUES.

1) Die für Coigüe ausgeworfenen Daten enthalten einen geringen Anteil an Roblepflanzen. Um den Meßaufwand nicht über Gebühr zu erhöhen, wurden diese wenigen Exemplare der Gruppe Coigüe zugeschlagen.

Es ist anzunehmen, daß die Überlegenheit von Raulí im wesentlichen auf seine Fähigkeit, Stockausschlag zu bilden, zurückzuführen ist; den dadurch errungenen Startvorteil gegenüber Coigüe hat dieser bis zum Aufnahmezeitpunkt noch nicht aufholen können, stammzahlmäßig verfügt er aber durchaus über das dazu notwendige Potential.

Vergleicht man die Situation im TRAFUN mit der in NAHUELBUTA, so ergibt sich als einzige Gemeinsamkeit das etwas höhere Durchsetzungsvermögen von Raulí gegenüber Coigüe, bei ganz unterschiedlichen Ausgangssituationen. In TRAFUN waren die Startbedingungen für beide Baumarten insofern ähnlicher, als vegetative Verjüngung, zu der unter Umständen Raulí, nie aber Coigüe befähigt ist, generell nicht vorkam. Hier galt es den Konkurrenzkampf mit Chusquea (85000 Rohre/ha) zu bestehen, wobei sich die Raulí-Population etwas erfolgreicher zeigte.

In NAHUELBUTA dagegen schien die eigentliche Konkurrenzphase erst zu beginnen, als die Baumarten untereinander mit ihren Standraumansprüchen in Konkurrenz gerieten. Hier zeigte sich Raulí durch seine Ausschlagsfreudigkeit im Vorteil. In seiner Verteilung ist er an vorhandene Stöcke gebunden, die er kranzförmig umgibt. Diese Situation kann sich auf die Dauer ungünstig auswirken, weil dadurch die Fläche unregelmäßig bestockt ist und die in dichten Aggregationen wachsenden Lohden sich untereinander stark behindern werden. So könnte der Raulí nach Anteil und vor allem Wert dem Coigüe gegenüber nach und nach ins Hintertreffen geraten.

2.34 LLAIMA

Diese Verjüngungsfläche repräsentiert einen besonderen Fall insofern, als hier nicht nur die Reaktion auf zerstörerische menschliche Einflüsse studiert werden konnte, sondern auch die Folgen widriger natürlicher Bedingungen sichtbar wurden, wie sie im unmittelbaren Einflußbereich von tätigen Vulkanen in Südchile häufig sind.

2.341 Beschreibung

Die Parzelle liegt auf ca. 15 km Luftlinie östlich des 3124 m hohen Vulkans Llaima, dessen Doppelkegel als Zeichen seiner schlummernden Aktivität ständig die charakteristische "fumarola" (= Dampf Wolke) trägt. Seine Ausbruchstätigkeit ist bis zurück zum Jahre 1640 bekannt. Nach CASERTANO, zitiert nach v. BUCH, 1970, wurden registriert:

- a) sehr starke Eruptionen: in den Jahren 1640, 1852, 1903 und 1917
- b) Ausbruchstätigkeit: in den Jahren 1751, 1864 - 1972, 1930, 1941, 1955-57

Die Folgen dieser vulkanischen Aktivität sind in der Parzelle deutlich nachweisbar. Dabei ist interessant, daß auch die sehr starken Eruptionen zu Beginn unseres Jahrhunderts den Wald in seiner Existenz bestehen ließen. Allerdings finden sich bei allen Altbäumen in der Umgebung der Parzellen einseitige Schäden auf der hangwärts gerichteten Seite, die zugleich die Richtung zum Vulkan Llaima angibt. Diese Schäden müssen vermutlich als Verbrennungsfolgen von heißen Aschendepositionen gedeutet werden. Auch die Bodenbildung wird von Aschenmaterial jüngsten Datums bestimmt. Die Aufnahme fläche war überdeckt mit einer sterilen Bimschicht von mehreren dm Mächtigkeit.

Unter diesen Umständen erscheint die üppige Rauli-Verjüngung, die sich nach Waldbrand und anschließendem Auszug alles Verwertbaren etabliert hatte, geradezu widersinnig. Erst nähere Untersuchung zeigt, daß es sich zum Teil um Auschlagsverjüngung aus Stöcken handelte, die ihrerseits in einem tiefgründigen humosen A-Horizont unter der Bimsschicht wurzelten. Aber auch weit von Stöcken entfernt fanden sich Rauli-Individuen; hier ergaben Nachgrabungen einwandfrei, daß sich außer Stockausschlag auch Wurzelbrut entwickelt hatte (siehe Abb. 35).



a)



b)

Abb. 35 Verjüngungspflanze in den Bimsdepositionen der Untersuchungsfläche LLAIMA (a) und ihre Identifizierung als Wurzelbrut in ausgegrabenem Zustand (b)

Neben der Rauli-Verjüngung fand sich etwas Ausschlags-Verjüngung von Roble, jedoch weder Verjüngung von Coigüe noch von Podocarpus andinus POEPP. EX ENDL. (= Lleuque), der in den Altbeständen der unmittelbaren Umgebung zusammen mit Nothofagus obliqua und N. alpina reichlich vertreten waren.

An Strauchvegetation fanden sich auf der Verjüngungsfläche:

<u>Polygala gnidioides</u>	= chin-chín
<u>Maytenus boaria</u>	= maitén
<u>Ribes spp.</u>	= parilla
<u>Pernettya mucronata</u>	= chaura
<u>Ugni molinae</u>	= murtilla
<u>Aristotelia maqui</u>	= maqui

Als Konkurrenzfaktor fiel diese Strauchvegetation jedoch nicht weiter ins Gewicht.

2.342 Aufnahmeergebnisse

Die Bestimmung des Alters der Rauli-Verjüngung erfolgte mit Hilfe von Stammscheibchen aus 20 cm Höhe über dem Erdboden.

Danach ergab sich das folgende Bild (Tab. 37)

Durchmesser in cm:	1	1	1	1	1	3	3	3	3	6	6	6	9
Alter	8	9	7	7	8	10	10	9	10	23	16	21	22

Tab. 37 Ergebnisse einiger Stichproben zur Altersbestimmung in der Verjüngungsfläche LLAIMA.

Die Proben schwanken zwischen Alter 7 und 23, die zugehörigen Individuen sind also teilweise schon vor dem letzten Ausbruch 1955-57 vorhanden gewesen, der infolgedessen ohne größeren Einfluß auf die Fläche geblieben sein muß.

Die Individuenzahl wurde per Abstandsverfahren ermittelt. Zusätzlich wurden Brusthöhendurchmesser gemessen. Das mag angesichts des jugendlichen Entwicklungsstadiums

dieses Gartenholzes als verfrüht betrachtet werden, erschien aber im Hinblick auf einen Vergleich mit der Verjüngungsfläche NAHUEL BUTA II, die ja ebenfalls Ausschlagsverjüngung von Raulí enthielt, von Interesse. Die Bestandesgrundfläche ist entsprechend der extrem differenzierten Brusthöhendurchmesser dieses Altersstadiums mit einem hohen Stichprobenfehler behaftet, wie Tab. 38 ausweist.

Individuenzahl/ha	13.942	+ 2624
Grundfläche m ² /ha	15,4	+ 4,96

Tab. 38 Individuenzahl und Grundfläche der Raulí-population in der Verjüngungsfläche LLAIMA

Die hohe Individuenzahl, die zu einer schnellen Bodenbedeckung des stark erosionsgefährdeten Hanges geführt hat, wird schon in Kürze zu einem erbitterten intraspezifischen Konkurrenzkampf innerhalb dieser reinen Raulí-Verjüngung führen. Für natürliches Ankommen anderer Baumarten wird zumindest in den kommenden Jahrzehnten keine Gelegenheit bestehen; das wird verhindert durch die ungünstigen Bedingungen in der Ober-schicht des Bodens im Zusammenspiel mit der extrem hohen Konkurrenz von seiten des bereits überreichlich etablierten N. alpina. Ob man Raulí angesichts seiner Abhängigkeit von vorhandenen Stöcken und Wurzelsystemen im vorliegenden Falle als Pionierbaumart bezeichnen kann, sei dahingestellt. Sicher ist aber, daß hier als Ergebnis von Exploitation und vulkanischem Einfluß eine Sukzession eingeleitet wurde, die zunächst zu einem gleichaltrigen Raulí-Reinbestand führt.

2.35 ARQUILHUE

Während es sich bei den bisher behandelten Parzellen durchweg um Verjüngungen nach Totalzerstörung der vorhergegangenen Waldgeneration handelte, bot das Exploitationsgebiet ARQUILHUE Gelegenheit, auf engstem Raume

die Einflüsse von Totalzerstörung und Teilzerstörung durch selektive Exploitation miteinander zu vergleichen.

2.351 Beschreibung

Es handelt sich um ein Gebiet von ca. 250 ha, in dem in den 30iger Jahren ein größerer Waldbrand gewütet hatte, der allerdings den Oberstand von Coigüe und Raulí nur kleinflächig zum Absterben brachte. In den übrigen Partien war sodann im Verlauf der letzten 15 Jahre eine selektive Exploitation von Raulí erfolgt unter Belassung des Coigüe-Schirms. Zum Aufnahmezeitpunkt im Jahre 1970 hatten sich die ungeschützten Flächenteile in 5 - 6 m hohe Chusquea-Dickichte - die sogenannten Coliguales - verwandelt, die auf den ersten Blick nicht nur total undurchdringlich, sondern auch frei von jeder Art von Baumverjüngung erschienen.

Auch die halbexploitierten Flächen beherbergten dichtes Bambusgestrüpp in der Verjüngungsetage, jedoch von etwas geringerer Üppigkeit. Einen Zwischenstand von Schattholzarten gab es nicht, er war offenbar dem Feuer zum Opfer gefallen. Die Oberetage bestand fast ausschließlich aus Uraltbäumen von Coigüe mit vereinzelt Exemplaren von (technisch unverwertbarem) Raulí, Tineo und Trevo. Stammzahl und Verteilung dieser Altbäume schwankte von Fläche zu Fläche in einem Rahmen von 25 bis 35 Stämmen/ha, die ohne sichtbare Klumpungstendenz mehr zufällig als regelmäßig über die Fläche verteilt waren. Abb. 36 zeigt einen Ausschnitt aus einer solchen Fläche von 1 ha Größe, in dem alle vorhandenen Altbäume ihrer Position nach eingemessen wurden. Gleichzeitig wurden die Brusthöhendurchmesser registriert und daraus die Kreisfläche des verbliebenen Bestandes berechnet, die für diesen Beispielsfall $36,1 \text{ m}^2$ betrug. Kronenprojektionen waren wegen des schwer durchdringbaren Bambusgestrüpps, das nach oben hin die Sicht versperrte, vom Arbeitsaufwand her nicht zu bewältigen.

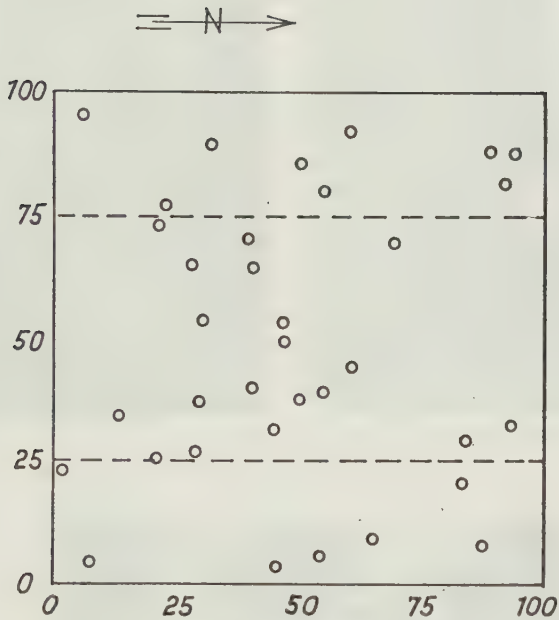


Abb. 36 Ausschnitt aus einer halbexploitierten Waldfläche mit Position der verbliebenen Altbäume

Abbildung 37 a zeigt die Situation im Innern einer halb-exploitierten Fläche im Umkreis eines mächtigen Überhälters. Abbildung 37 b gibt einen Eindruck von der noch üppigen Bambusvegetation in den totalexplorierten Flächenteilen, die unter hohem Kraft- und Zeitaufwand durch Schneisen aufgegliedert werden mußten. Abbildung 37 c, schließlich, zeigt denselben Ausschnitt wie Abb. 36 im Seitenaspekt.



a)



b)



c)

Abb. 37 Aspekte in halbexploitierten (a und c) bzw. totalexplorierten (b) Untersuchungsflächen in ARQUILHUE

Man geht sicher nicht fehl, von Altholzresten mit Kreisflächen der genannten Größenordnung und derart mächtigen Kronen spürbare Einflüsse auf die Verjüngungsetage und damit Unterschiede gegenüber der Freifläche zu erwarten.

2.352 Aufnahmeergebnisse

Aus dem beschriebenen Terrain wurden vier beschirmte und vier unbeschirmte Flächen von je 1 ha Größe ausgewählt. Abb. 38 zeigt ihre Form und Lage innerhalb des Untersuchungsgebietes.

Bodeneinschläge in allen Parzellen hatten die Vermutung bestätigt, daß die Verhältnisse hinreichend homogen waren. In allen Fällen handelt es sich um relativ schwach entwickelte Böden vom Typus der Steilhangtrumaos, so wie sie im Abschnitt 2.26 für ARQUILHUE eingehend beschrieben und analysiert wurden.

Die Verjüngung wurde im Probekreisverfahren aufgenommen. Die Qualitätsansprache erfolgte nach dem gleichen Schema, wie es für TRAFUN entwickelt worden war (siehe Abschnitt 1.3). Wo der Entwicklungsstand der Verjüngung in ARQUILHUE so weit fortgeschritten war, daß dieses Verfahren nur noch bedingte Brauchbarkeit hatte, wurden zusätzlich die Kreisflächen erhoben, um so zu klareren Vorstellungen von den Dominanzverhältnissen in der Verjüngungsetage zu gelangen.

Um einen Altersvergleich zwischen den Baumarten innerhalb jeder Fläche zu ermöglichen, wurden jeweils 40 Proben für Coigüe und die gleiche Anzahl für Raulí entnommen und daraus die betreffenden Durchschnittsalter errechnet. Diese sind zusammen mit den jeweiligen Individuenzahlen, Zukunftspflanzen und - gegebenenfalls - Kreisflächenanteilen in Tab. 39 wiedergegeben.

Die Individuenzahlen von Raulí und Coigüe schwanken offenbar ohne Beziehung zum Übershirmungszustand, wobei die Schwankungsbreite bei Raulí weit geringer ist,

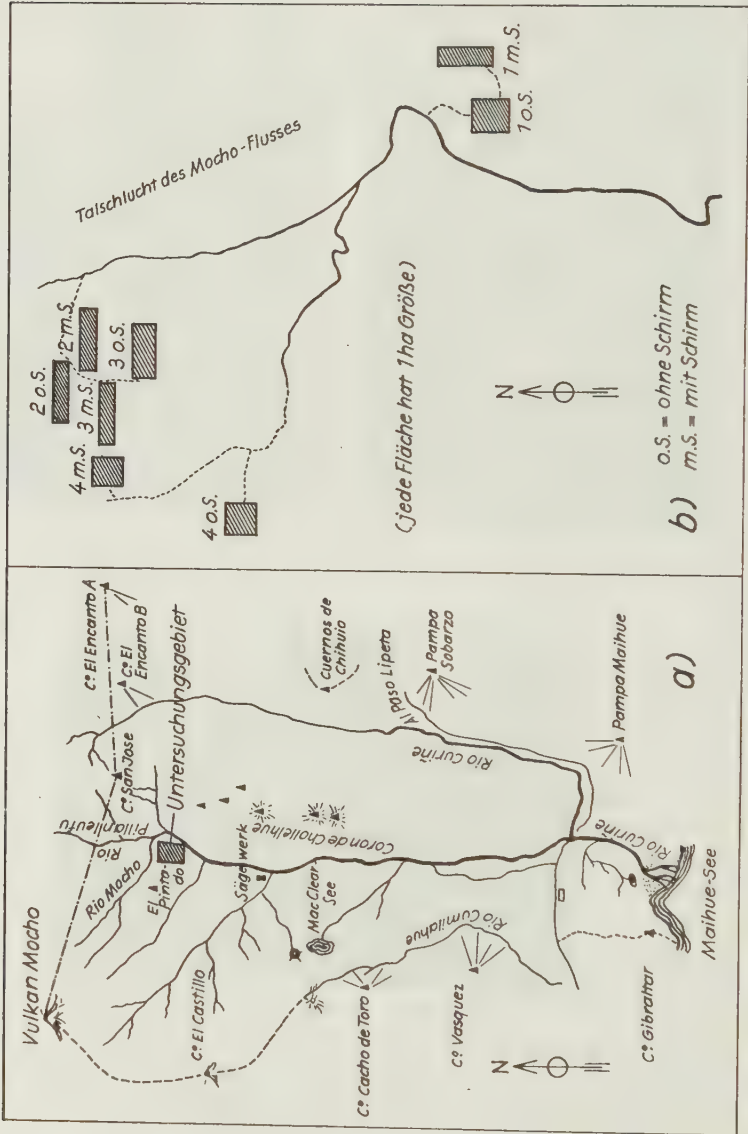


Abb. 33 a) Karte des Exploitationsgebietes ARQUILLHUE mit Untersuchungsgebiet

b) Lage der Aufnahmeflächen im Untersuchungsgebiet o.S. = ohne Schirm; m.S. = mit Schirm

U N B E S C H I R M T

Fläche	Baumart	Durchschnitts- alter	Individuen- zahl Pfl./ha	Zukunftspflanzen Pfl./ha	%	Kreisfläche m ² /ha
1	Rauli	15,5	4100	90	2,2	—
	Coigue	14,3	25300	825	3,6	—
2	Rauli	21,4	1250	490	38,9	4,72
	Coigue	20,6	8600	325	3,8	3,58
3	Rauli	21,7	1400	625	44,1	3,03
	Coigue	24,0	4100	1140	27,8	32,11
4	Rauli	21,3	1600	590	37,1	—
	Coigue	23,8	550	180	40,0	—

B E S C H I R M T

1	Rauli	18,6	2750	275	10,0	—
	Coigue	16,7	9400	365	3,9	—
2	Rauli	23,7	2300	405	17,5	2,32
	Coigue	19,0	7600	265	3,5	0,48
3	Rauli	25,4	1350	515	38,2	4,10
	Coigue	23,7	6550	475	7,2	3,03
4	Rauli	21,6	4150	275	6,7	—
	Coigue	21,6	5550	150	2,7	—

Tab. 33 Ergebnisse des Verjüngungsvergleichs in 4 unbeschrzten
und 4 beschrzten Flächen im Exploitationsgebiet
ARQUILHUE.

(1250 bis 4150) als bei Coigüe (550 bis 25300). Bis auf den Fall der Fläche 4 (unbeschriftet) ist Coigüe immer mit höheren Pflanzenzahlen vorhanden, als Raulí, was u.a. auf die weitaus größere Zahl an Coigüe-Samenbäumen in diesem Waldgebiet zurückzuführen sein mag. Was den Entwicklungsstand betrifft, so zeigen sich in den unbeschrifteten Flächen abwechselnd Coigüe (Fläche 1 und 3) und Raulí (Fläche 2 und 4) dem Verjüngungspartner gegenüber im Vorteil. In den beschrifteten Flächen ist durchweg Raulí überlegen. Für die Beurteilung der Durchsetzungsfähigkeit geben dabei im allgemeinen die Prozentzahlen an zukunftsstüchtigen Individuen den besten Hinweis.

Noch klarer wird das Bild, wenn man alle bestockten Probekreise aus beschrifteten und unbeschrifteten Flächen zusammenfaßt und den Prozentsatz derjenigen Probekreise betrachtet, die "zukunftsstüchtige Bäume" enthalten (s. Tab. 40).

Baumart	Beschirmung	Bestockte Probe- kreise auf 4 ha	davon mit Zukunfts- pflanzen besetzt
Coigüe	unbeschriftet	277	173 62 %
	beschriftet	332	125 38 %
Raulí	unbeschriftet	313	179 57 %
	beschriftet	336	147 44 %

Tab. 40 Prozentsatz an zukunftsstüchtigen Bäumen in den bestockten Probekreisen der beschrifteten bzw. unbeschrifteten Flächen in ARQUILHUE.

Danach nimmt Coigüe von 62 % Probekreisen mit zukunftsstüchtigen Pflanzen im unbeschrifteten Terrain auf 38 % im beschrifteten ab, während Raulí von 57 % auf 44 % zurückgeht.

Diese Beobachtungsergebnisse liefern einen weiteren Hinweis dafür, daß Raulí im Verjüngungsstadium eine hohe Schattenfestigkeit besitzt, die der des Coigüe noch überlegen zu sein scheint, obwohl N. dombeyi

als Halbschattart und N. alpina als Lichtart in die bisherige Literatur eingegangen sind. Beschränkt sich die Konkurrenz auf Chusquea-Bambus, ohne daß eine zusätzliche Überschirmung durch Altbestandsreste stattfindet, kann es dagegen vorkommen, daß Coigüe gegenüber Raulí stark dominant wird. Das zeigt z.B. die Fläche 3(unbeschirmt), in der N. dombeyi bei einem Durchschnittsalter von 24 Jahren bereits 32 m²/ha Kreisfläche erreicht hat, gegenüber 3 m² von N. alpina.

2.36 Schlußbemerkung

Die angestellten Beobachtungen über die Beziehungen zwischen Überschirmung und Durchsetzungsvermögen der Nothofagusarten Raulí und Coigüe können natürlich nur einen ersten Hinweis liefern auf die waldbaulichen Möglichkeiten, die sich in bezug auf die Mischungsregulierung in Naturverjüngungen vom Coigüe-Raulí-Typ eröffnen. Eine exakte Studie über das Schattenerträgnis beider Baumarten müßte sowohl die Lichtverhältnisse als auch die Wachstumsreaktionen der Pflanzen sorgfältiger quantifizieren und zum Zwecke der statistischen Auswertung in numerische Form bringen. Das hätte jedoch angesichts des erforderlichen methodischen Mehraufwandes bei einem so komplizierten und unbequemen Untersuchungsobjekt, wie es Naturwaldparzellen darstellen, den Rahmen dieses Arbeitsabschnittes weit überschritten.

2.4 Diskussion der Inventurergebnisse und Folgerungen

2.41 Ungestörte Waldbilder

Die Beobachtungsergebnisse aus 5 Urwaldparzellen haben gezeigt, daß Nothofagus alpina innerhalb seines natürlichen Verbreitungsgebietes an physiognomisch ganz verschiedenen Wäldern beteiligt sein kann. Die dargestellten Waldbilder repräsentieren unterschiedliche Waldtypen und können nicht als zeitlich begrenzte Phasen innerhalb der Dynamik eines einzigen Waldtypes aufgefaßt werden.

Es wurden drei prinzipiell voneinander abweichende Typen gefunden, deren einziger gemeinsamer Nenner die Anwesenheit von Rauli und Coigüe im Oberstand war; zu vermuten ist, daß es darüber hinaus noch andere Waldtypen mit N. alpina gibt.

- a) Den ersten Typ repräsentieren die Urwaldparzellen ARQUILHUE, NIBLINTO und - bemerkenswerterweise, weil viel weiter nördlich gelegen - PARRAL. Ihnen gemeinsam ist ein äußerst vitaler Zwischenstand von Schattholzarten wie Olivillo, Tapa und Lingue und gar kein bzw. äußerst dürftiger Nothofagus-Aufschlag in der Verjüngungsetage.
Dieser "valdivianische" Typ hat innerhalb der noch verbliebenen Primärwälder sicher die größte Verbreitung.
- b) Einen zweiten Typ verkörpert die Parzelle NAHUEL BUTA in der Küstenkordillere mit ihrem reinen Nothofaguswald (Rauli-Coigüe-Roble) in plenterartiger Aufbauform, ausgezeichnet durch ein dynamisches Verjüngungsgeschehen, das - horizontal wie vertikal - jede sich bietende Lücke sogleich ausnutzt. Dieser Typ ist sicher sehr selten und muß als Spezialfall angesehen werden.
- c) Ein dritter Typ fand sich in LOS CHENQUES. Hier handelt es sich um einen kontinentaler getönten reinen Nothofaguswald in etwas tieferer Lage, so wie er vom Zentrum des Verbreitungsgebietes (38° S) an nach Norden häufiger wird. Dieser Typ zeigt ein geringeres Leistungsniveau. Trotz zahlenmäßig üppiger Verjüngung in diesem lichtdurchfluteten, unter- und zwischenwuchsarmen Wald genügen die Standortkräfte offenbar nicht, um eine stabile Mehrstufigkeit auszubilden, so daß der Eindruck eines gleichaltrigen Hochwaldes entsteht.

Die genannten Typen unterscheiden sich nicht nur im Aufbau, sondern auch in der Grundflächenhaltigkeit. Dieser Bestandesparameter scheint geeignet zur Kennzeichnung des Konkurrenzdruckes, der vom Altholz auf die Verjüngung ausgeübt wird. Verfolgt man die Beziehung zwischen den Bestandesgrundflächen

der vier voll aufgenommenen Urwaldparzellen¹⁾ und der in ihnen vorhandenen Nothofagusverjüngung, so ergibt sich die folgende grafische Darstellung (siehe Abb. 39). Für eine Berechnung des dargestellten funktionalen Zusammenhanges ist das Beobachtungsmaterial noch unzureichend. Immerhin kann hypothetisch abgeleitet werden, daß vom Standpunkt der Verjüngung aus die Situation erst von 50 m²/ha Grundfläche an aufwärts kritisch zu werden scheint. Nimmt man statt der gesamten Bestandesgrundfläche nur diejenige der Licht- und Halbschattarten (Nothofagus, Weinmannia), die den Hauptbestand ausmachen, dann läßt sich keine Beziehung zur Verjüngungssituation herstellen. Ebenso gibt es keine klare Beziehung zwischen der gesamten Bestandesgrundfläche und der Zahl an Schattholzarten wie Olivillo und Tapa in der Verjüngung.

Die verschiedenen Rollen, die sowohl Coigüe als auch Raulí in den untersuchten Beständen spielen, sind ein Hinweis auf eine bemerkenswerte waldbauliche Plastizität dieser beiden Nothofagusarten. Dabei scheint ihrem Schattenertragnis - das mit Sicherheit größer ist als bisher angenommen - eine entscheidende Bedeutung zuzukommen. Zu dieser Frage werden im folgenden Kapitel noch präzisere Aussagen gemacht werden. Im Vergleich zu den negativen Einwirkungen des Zwischenstandes von Schattholzarten auf die Verjüngung fällt der Einfluß der Konkurrenzvegetation in der Strauchschicht (einschließlich des Chusquea-Bambus) weniger ins Gewicht. Das ist angesichts der geradezu beängstigenden Üppigkeit dieses Unterstandes ein überraschendes Ergebnis. In bezug auf die waldbauliche Behandlung der ausgeschiedenen Waldtypen lassen sich folgende (vorläufigen) Empfehlungen geben:

- a) Bei Urwaldbeständen vom Typ ARQUILHUE, NIBLINTO, PARRAL, die sich durch einen dichten Zwischenstand an Schattholzarten auszeichnen, müssen Exploitationshiebe so vorgenommen werden, daß eine genügende Zahl von Raulí-Samenbäumen (etwa 10 Stück/ha), annähernd homogen über die Fläche verteilt, erhalten bleiben. Für die Baumarten mit leichteren

1) ARQUILHUE, NIBLINTO, NAHUELBUTA I und LOS CHENQUES.
In der Parzelle PARRAL war keine Vollaufnahme durchgeführt worden.

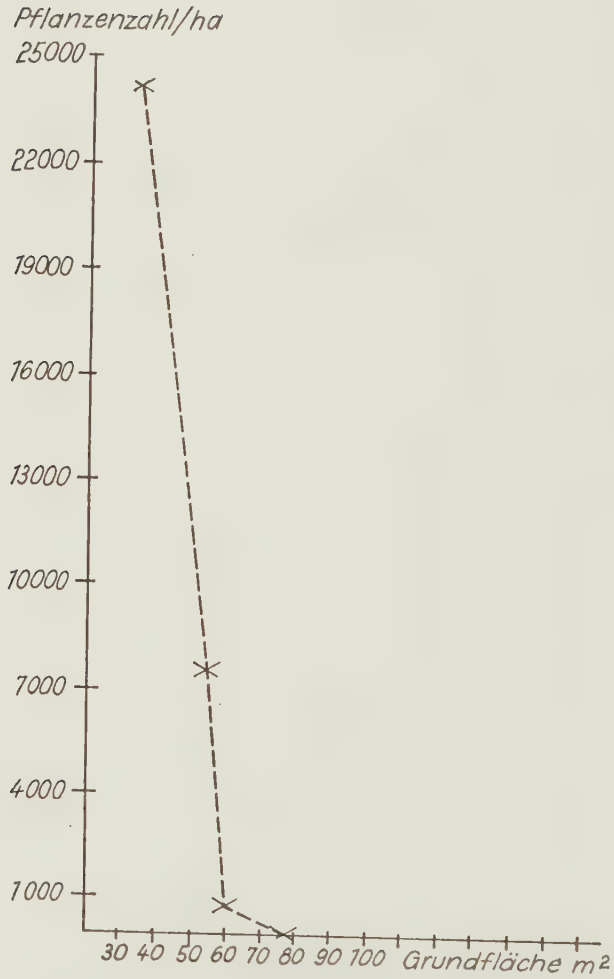


Abb. 39 Bestandesgrundfläche und Individuendichte der Nothofagusverjüngung in vier Urwaldparzellen von Rauli-Coigüe-Typ

Samen (Coigüe, Tineo) genügen einige wenige Exemplare. Dieser verbleibende Schirm scheint auch aus Gründen der Mischungsregulierung wünschenswert. Zusammen mit dem Auszug der zur Nutzung bestimmten Stämme aus der Oberschicht sollte der Zwischenstand so weit wie möglich entfernt oder wenigstens zerstört werden. Die Erfolgsaussichten lassen sich beträchtlich erhöhen, wenn es gelingt, den Ernteeingriff mit einem Mastjahr zu kombinieren.

- b) Fehlt dagegen, wie im Falle von NAHUELBUTA und LOS CHENQUES, ein Zwischenstand aus Schattbaumarten, so kann zwischen zwei möglichen Nutzungsformen unterschieden werden, nämlich
- b₁) plenterartige Nutzung zur Erhaltung der Ungleichaltrigkeit und Vielstufigkeit
 - b₂) schlagweise Nutzung und Übergang zur Gleichaltrigkeit.

Für die erstgenannte Möglichkeit bieten sich lediglich Bestände des Typs NAHUELBUTA an¹⁾. In zweiter Linie sei auf die - primitivere - Möglichkeit des Kahlschlages mit anschließender Überführung in schlagweisen Hochwald hingewiesen, die hier ebenfalls ohne problematische Folgen angewendet werden könnte, weil ein quantitativ wie qualitativ ausreichendes Verjüngungsreservoir zur Verfügung steht, um die Existenz des Folgebestandes sicherzustellen. Negative Auswirkungen auf das Mischungsverhältnis im Sinne einer stärkeren Begünstigung des weniger erwünschten Coigüe sind allerdings möglich. Bei der Ernte müßte der Anfall eines Anteils hiebsunreifer Stämme in Kauf genommen werden. Der Hieb müßte unter peinlicher Schonung der Verjüngung durchgeführt werden. Für den Typ LOS CHENQUES, dessen Einschichtigkeit nicht über eine markante Ungleichaltrigkeit hinwegtäuschen darf, bleibt nur die Möglichkeit der

1) Es ist anzunehmen, daß dieser Bestandestyp sehr selten, wenn nicht einmalig in Chile ist. Somit haben die Empfehlungen zu seiner Behandlung mehr theoretischen Charakter. Wünschenswerter wäre es, solche Bestände unter Naturschutz zu stellen, wie es im Beispielsfalle NAHUELBUTA durch die Lage in einem Nationalpark auch geschehen ist.

schlagweisen Nutzung mit Übergang zur Gleichaltrigkeit. Dabei braucht angesichts der immens hohen Pflanzenzahlen in der Verjüngungsetage keine besondere Rücksicht auf die Folgegeneration genommen zu werden.

2.42 Gestörte Waldbilder

2.421 Totalzerstörung des Urwaldes

An erster Stelle soll die Frage diskutiert werden, ob nach Totalzerstörung der Primärwälder, so, wie sie in einem großen Teil des Raulí-Areals stattgefunden hat, eine natürliche Wiedereroberung durch die gleichen Baumarten einsetzt und welcher Zeiträume es dazu bedarf.

Die Ergebnisse aller untersuchten Flächen ergaben, daß sowohl für vegetative als auch für generative Vermehrung ein Zeitraum von 10 bis 15 Jahren ausreicht, um eine Baumverjüngung sicherzustellen, die den Anforderungen des Begriffes Wald gerecht wird. Aus waldbaulicher Sicht sind die Verjüngungen je nach den speziellen Bedingungen, die ihre Entstehung begleitet haben, jedoch oft wenig befriedigend.

Bei der generativen Vermehrung bewirkt die Konkurrenzvegetation von Chusquea oft stark geklumpfte Verteilungen mit größeren Fehlstellen, die zu Steilrandbildung führen.

Bei vegetativer Vermehrung von Raulí und Roble läßt die Verteilung ebenfalls zu wünschen übrig, da der Ausschlag an vorhandene Stöcke gebunden ist, deren Zahl und Abstand den optimalen Standraumanforderungen für das Verjüngungsstadium keineswegs entsprechen. Ein Ausgleich dieser Verteilungsmängel durch Wurzelbrut, so wie sie im Falle der Parzelle LLAIMA gefunden wurde, muß sicher als Ausnahme angesehen werden, bedingt durch die sehr speziellen Bodenverhältnisse in dieser Fläche.

In diesem Zusammenhang muß auf die unterschiedliche Ausschlagsfähigkeit des Raulí innerhalb seines Verbreitungsgebietes hingewiesen werden, die vermutlich von

klimatischen Bedingungen abhängt. Sie nimmt von Süden nach Norden zu und soll nach WADSWORTH, 1971, auch expositionsabhängig sein.

Eine zweite Frage zielt auf das Problem der Baumartenzusammensetzung, insbesondere der Beteiligung wertvoller Arten in den Mischverjüngungen. Für den Fall der Ausschlagsverjüngung ist die Antwort einfach: Hier ist Raulí logischerweise immer im Vorteil, wie es die Parzellen NAHUEL BUTA II und LLAIMA demonstrieren.

WADSWORTH, der in Sekundärwäldern des Raulítyps ausgedehnte Zuwachsstudien anstellte, vertritt in diesem Zusammenhang die Theorie, daß auf Interventionen in Primärwäldern von Raulí, Coigüe und Roble grundsätzlich Sekundärwälder folgen, in denen Raulí die anderen Nothofagusarten stark zurückdrängt. Diese Ansicht wurde in der nördlichen Hälfte des Raulí-Areals gewonnen. Angesichts dieses starken Durchsetzungsvermögens von Raulí ist die Befürchtung sicher unsinnig, daß er in Zukunft immer stärker zurückgedrängt werde. Weniger eindeutig ist die Situation im Falle generativer Vermehrung.

Verjüngungsaufnahmen auf total exploitierten Flächen erbrachten Beispiele, in denen sich Coigüe - vermutlich in Ausnutzung des größeren Lichtangebots - gegenüber Raulí stark in den Vordergrund geschoben und diesen von der Beteiligung am Endbestand praktisch ausgeschlossen hatte. Dieses Risiko dürfte allerdings nur im Bereich der nordpatagonisch-valdivianisch getönten Wälder bestehen, in denen sich Coigüe in seinem Optimum befindet.

2.422 Teilzerstörte Wälder

Unter den Halbschattbedingungen teilexploitierter Wälder (wie auch in Urwäldern hellerer Ausprägung) beweist dagegen Raulí ein besseres Durchsetzungsvermögen, das ihm einen angemessenen Platz in der Folgegeneration sichern wird.

Im Zusammenhang mit der Waldzerstörung in Chile wird häufig von der "Baumbusverseuchung" der ausgebeuteten Waldflächen gesprochen, die die Wiederbewaldung sozusagen im Keime ersticke. In der Tat erscheinen viele solcher Flächen für eine forstliche Produktion verloren. Tatsache ist jedoch, daß in keinem einzigen Falle dieser Verjüngungsstudie die Bambusvegetation allein ein existenzbedrohendes Hindernis gegenüber der Baumverjüngung darstellt hat. Allerdings kann eine erhebliche Verzögerung und Qualitätsminderung der Verjüngung von ihr ausgehen.

Bezüglich einer zukünftigen B e h a n d l u n g der heranwachsenden Naturverjüngung können aus den gewonnenen Erfahrungen einige Empfehlungen abgeleitet werden: Bei den Ausschlagsverjüngungen liegt das waldbauliche Problem im Stammzahlreichtum, verbunden mit starker Aggregation der Individuen um die Stöcke herum. Wenn man sich hier zu waldbaulichen Eingriffen entschließt, dann kann es nur um kräftige Stammzahlreduzierung in einer Art sehr starker Auslesedurchforstung gehen, in der nur wuchskräftige und qualitativ hochwertige Lohden geschont werden. Diese Eingriffe müssen nach Stärke und Zeitpunkt so gewählt werden, daß neuer Ausschlag als Reaktion auf die Maßnahme keine Chancen hat.

Solche Jungdurchforstungen wurden bisher durch den Umstand verhindert, daß es keinerlei industrielle Verwendung für schwaches Laubholz in Chile gibt. Mittlerweile bestehen aber Pläne, es als zusätzliche Rohstoffquelle für die Zelluloseherstellung nutzbar zu machen, so daß zumindest im Einzugsgebiet solcher Zellstoffwerke ein entsprechender Schwachholzmarkt entstehen könnte.

Eine denkbare Lösung, auch ohne die angesprochenen Verwertungsmöglichkeiten die notwendigen Jungdurchforstungen durchzuführen, liegt in der Anwendung chemischer Selektionsmaßnahmen. Angesichts der weit verbreiteten saisonalen Arbeitslosigkeit in den ländlichen Bereichen Chiles können derartige Durchforstungsprogramme als durchaus sinnvolle Arbeitsbeschaffung angesehen werden.

Anders ist die Situation in den jungen Sekundärbeständen aus Kernwüchsen. Ihre flächenmäßige Ausdehnung ist weit- aus geringer und im wesentlichen auf die südlichen Pro- vinzen Valdivia und Cautin beschränkt. Sie stellen nach Entstehung und Wuchsgebiet ein bedeutendes Wertholzpoten- tial dar, worauf auch die waldbauliche Behandlung abzie- len sollte. Dabei ist das Problem der Bambus-Konkurrenz in Jungwuchs- und Dickungsphase vorerst nicht zu bewäl- tigen. Mit chemischen Maßnahmen gegen einen derart über- mächtigen Faktor angehen zu wollen, stößt nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht auf allergrößte Bedenken.

Die waldbauliche Pflege dieser Kernwuchsbestände kann also erst einsetzen, wenn die Baumverjüngung die Oberhand über das Chusquea-Dickicht erlangt hat und die Bestände einiger- maßen begehbar geworden sind, was im Durchschnitt etwa ab Alter 30 der Fall sein dürfte. Die Plastizität der Baumarten Coigüe und Raulí erlaubt dann die Anwendung von Hochdurch- forstungen; wenn nötig muß im gleichen Zuge das Mischungs- verhältnis gesteuert werden.

Einige Durchforstungsversuche in Küstenkordillere und Anden- vorland (ROCUAN, 1969; UNIVERSIDAD DE CHILE, 1965, 1971) haben gezeigt, daß durch geeignete Maßnahmen qualitativ hochwertige Raulí-Bestände entstehen können.

Abbildung 40 zeigt entsprechende Aspekte, die zugleich die guten Wuchsformen von N. alpina erkennen lassen. Auf diesem Wege muß zumindest die staatliche Forstverwaltung sobald wie möglich fortfahren, wenn sie die ihr auferlegte Verantwortung für die Gestaltung der zukünftigen Wälder ernst nimmt.

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse und Schluß- folgerungen entstammen Feldbeobachtungen, die der Über- prüfung und Vertiefung bedürfen. Sie zeigen wahrscheinliche Tendenzen auf, führen auf sinnvolle Fragestellungen hin und sollten den Anstoß zu exakteren Untersuchungen geben, die dann - entsprechend den methodischen Anforderungen des waldbaulichen Versuchswesens - begrenztere Teilprobleme mit



Abb. 40 Aspekte einiger durchforsteter Sekundärwälder
von N. alpina im Andenvorland und Küstenkordillere

höherem Quantifizierungsaufwand erschöpfender zu behandeln haben.

3 Lichtökologische Untersuchungen in Urwaldbeständen von Nothofagus alpina

3.1 Problemstellung

Beobachtungen im Rahmen des vorhergehenden Kapitels hatten die Frage der Schattentoleranz von *Nothofagus*-verjüngung in den Vordergrund des Interesses gestellt. Zur Beschreibung der Lichtverhältnisse wurden dabei notgedrungen indirekte Parameter verwandt, wie Bestandesgrundfläche und Überschildung, letztere sogar ohne genaue Quantifizierung. Angesichts dieser unbefriedigenden Situation wurde eine Untersuchung angeschlossen, mit dem Ziel, das Lichtklima in der Verjüngungsetage von intakten *Nothofagus*-beständen exakter zu beschreiben.

Nach Durchsicht der entsprechenden Literatur und unter Berücksichtigung der technischen Durchführbarkeit eines solchen Projektes unter den gegebenen Arbeitsbedingungen wurde die Thematik auf die folgenden Teilprobleme eingengt:

- a) - Quantifizierung des Lichtklimas im Flächendurchschnitt eines jeden Bestandes in Verjüngungshöhe und bei typischer Wetterlage in der Vegetationszeit.
- b) - Herstellung der Beziehung zwischen diesen Meßergebnissen und den entsprechenden Lichtverhältnissen im Freien, zur Kennzeichnung der relativen Helligkeit im Bestand.
- d) - Studium des Einflusses der Außenlichtintensität auf die relative Helligkeit innerhalb ein und desselben Bestandes.
- d) - Untersuchung der Beziehung zwischen Kreisfläche und Lichtklima im Bestandesinnern.
- e) - Untersuchung der Beziehung zwischen relativer Helligkeit in der Verjüngungsebene und Anzahl von vorhandenen *Nothofagus*-pflanzen.

- f) - Erarbeitung von Näherungswerten bezüglich der Minimumbedürfnisse an Licht von Nothofaguspflanzen in der Verjüngungsetage.

Als Untersuchungsflächen boten sich die bereits bekannten Urwaldparzellen ARQUILHUE, NIBLINTO, NAHUELBUTA I und LOS CHENQUES an, für die genaue Bestandesdaten aus vorausgegangenen Untersuchungen vorlagen. Tabelle 41 faßt die Aufnahmeergebnisse für diese Urwaldbestände der besseren Übersicht halber noch einmal zusammen.

3.2 Literaturübersicht und Diskussion methodischer Probleme

Die Charakterisierung des Lichtklimas in Waldparzellen wirft eine Fülle methodischer Probleme auf, die hier nur kurz angesprochen werden können. Auf ausführlichere Abhandlungen zu diesem Thema sei verwiesen (SAUBERER und HÄRTEL, 1959; REIFSNYDER and LULL, 1965; MITSCHERLICH et al., 1967).

3.2.1 Erfassung des für die Wachstumsvorgänge relevanten Spektralbereichs

In der Praxis der Strahlungsmessung haben sich im Laufe der letzten Jahrzehnte einerseits die fotoelektrischen, andererseits die kalorimetrischen Methoden bewährt; sie sind deshalb laufend vervollkommenet worden. Erstgenannte nutzen die Eigenschaft bestimmter Elemente (i.d.R. Selen) aus, auf einen Lichtreiz hin Elektronen freizusetzen und damit die Voraussetzung für einen elektrischen Stromfluß zu schaffen. BURSCHEL und SCHMALTZ, 1965, beschreiben am Beispiel eines Handluxmeters der Firma Lange ausführlich die Wirkungsweise solcher fotoelektrischen Meßgeräte. Als unbestreitbarer Mangel derartiger Meßverfahren im Zusammenhang mit pflanzenphysiologischen Phänomenen wie "Wachstum" oder "Durchsetzungsvermögen" muß empfunden werden, daß der spektrale

Baumbestand	Parzelle	ARQUILHUE							NIBLINTO							Gebüsch
		RA	CO	TE	MA	TN	TR	Gesamt	Bambus	RA	CO	OL	TE	TN	SO	
Stammzahl/ha		50	57	251	70	6	13	447		84	12	572	39	76	183	966
Kreisfläche in m²/ha		8,5	39,2	9,2	1,2	1,0	0,8	59,9		17,2	13,5	20,6	2,1	17,1	5,4	75,9
Individuenzahl/ha		300	500	3.900				4.700				7.800				7.800
Dichte der Konkurrenzvegetation									64.450							1.590

Baumbestand	Parzelle Esarwäter.	NAHUELBUTA				LOS CHENQUES					Gesamt
		PA	CO	RO	Gesamt.	Ra	CO	RO			
		184	294	64	542	113	50	32		195	
	Kreisfläche in m ² /ha	14,7	31,8	8,0	54,5	14,8	17,8	2,1		34,7	
Verjüngungs- etage	Individuen- zahl/ha	5.350	2.000	650	8.000	10.200	13.300	600		24.100	
	Davon zuerzuchtete Stückzahl	510	463	54	725	429	286	11		726	

RA = Rauli TE = Tepa OL = Olivillo
 CO = Coigüe MA = Maitén TR = Trevo
 RO = Roble TN = Tineo SO = Sonstige (Avellano, Avellanillo)

Tab. 41 Zusammenfassende Darstellung der Aufnahmeergebnisse in Baumbestand und Verjüngungsetage von 4 Urwaldparzellen mit N. alpina.

Empfindlichkeitsbereich des Photoelements aus Selen nicht deckungsgleich mit der selektiven Strahlungsausnutzung der grünen Pflanze ist. Zwar umfaßt er - wie auch das menschliche Auge - etwa die gleiche Spanne, in der sich fotosynthetische Aktivität abspielt, aber die Empfindlichkeit gegenüber den einzelnen Spektralbereichen innerhalb dieser Spanne ist anders als die fotosynthetische Sensibilität grüner Blätter. Außerdem wird der für den Metabolismus wichtige Bereich der Infrarotstrahlung bei fotoelektrischen Messungen nicht mitrepräsentiert (SAUBERER und HÄRTEL). So ist die Erfassung der Lichtverhältnisse im Bestand mit Hilfe von Photoelementen nur ein unvollkommenes Mittel zur Charakterisierung des pflanzenphysiologisch relevanten Strahlungsmilieus. Trotzdem wird es - seiner verhältnismäßig einfachen Handhabung wegen - immer wieder benutzt, vor allem dort, wo es darum geht, den schnellen örtlichen und zeitlichen Wechsel der Belichtung im Bestand durch eine Vielzahl von "Momentaufnahmen" zu repräsentieren. Hier gibt es, zumindest vorläufig, keine geeignetere Meßmethode.

Anders ist die Lage, wenn Dauermessungen an einem oder wenigen Orten durchgeführt werden sollen. Hierzu sind kalorimetrische Messungen - etwa mit Hilfe von BELLANI-Pyranometern - in der Regel geeigneter, deren spektrale Empfindlichkeit das pflanzenwirksame Strahlungsklima im Bestand zutreffender repräsentiert. Eine eingehende Beschreibung der Arbeitsweise sowie der Vorteile dieses Strahlungsmeßgerätes gibt HUSS, 1971. Allerdings hat sich ihr Einsatz unter den speziellen Bedingungen der vorliegenden Untersuchung gar nicht bewährt. Dafür waren einerseits die Transportprobleme verantwortlich, die bei diesen zerbrechlichen Glasinstrumenten auf dem beschwerlichen Anmarsch zu den Urwaldparzellen auftreten. Zusätzlich erwies sich als störend, daß die Geräte nicht hinreichend empfindlich sind, um in den z.T. extrem dunklen

Waldformationen über kürzere Zeiträume (2 - 6 Stunden) vorhandene Unterschiede klar zu repräsentieren. Demzufolge mußte nach anfänglicher Verwendung im weiteren Verlauf der Untersuchung von der Benutzung von Bellani-Pyranometern Abstand genommen werden.

3.22 Die Frage des repräsentativen Zeitraumes bei Licht- bzw. Strahlungsmessungen

Außenhelligkeit und Lichtintensität im Bestandesinnern sind starken zeitlichen Schwankungen ausgesetzt. Zu nennen sind hier jahreszeitlich bedingte Veränderungen des Sonnenstandes, aber auch des Blätterdaches. Hinzu kommen die extremen tageszeitlichen Schwankungen. Schließlich kann sich die Lichtintensität von einem zum anderen Augenblick durch Wettereinflüsse ändern. Angesichts dieser extremen Variabilität und der Notwendigkeit zur Beschränkung auf repräsentative Situationen kommt der Auswahl geeigneter Meßzeiträume eine zentrale Bedeutung zu. Die Wege, die hierzu eingeschlagen worden sind, weichen z.T. stark voneinander ab.

Übereinstimmung herrscht meist noch in der Beschränkung der Messungen auf die Vegetationszeit. Hinsichtlich der Witterungsbedingungen zwingt die Knappheit von Zeit und Mitteln zur Auswahl typischer Wetterlagen. Dabei werden aus meß- und auswertungstechnischen Gründen stabile Verhältnisse, insbesondere totale Wolkenlosigkeit aber auch "möglichst gleichmäßige" Bewölkung allgemein bevorzugt. (BURSCHEL und SCHMALTZ, 1965; HUSS, 1971, und andere). Notgedrungen beschränkt sich die Charakterisierung von Lichtklimaten häufig auf die leicht erfaßbaren Belichtungssituationen, die deswegen aber keineswegs repräsentativ im Sinne des pflanzlichen Lichtgenusses zu sein brauchen. Was die Charakterisierung der Lichtverhältnisse im Tageszyklus betrifft, so sind die Vorschläge diesbezüglich unterschiedlich. MITSCHERLICH et al., 1967,

ziehenes vor, den gesamten Tageslauf von der Morgen- bis zur Abenddämmerung zu registrieren, was die Benutzung von registrierenden Geräten erforderlich macht. Nachteil dabei kann sein, daß angesichts der Aufwendigkeit eines solchen Instrumentariums nur wenige Meßzellen eingesetzt werden und daher die örtlichen Intensitätsschwankungen innerhalb der überschirmten Fläche nicht hinreichend repräsentiert werden können. Dieses Problem lösten LOGAN und PETERSON, 1964, indem sie je 100 Punkte innerhalb eines Bestandes bis zu 15 mal während des Meßzeitraumes mit Handluxmetern durchliefen. Um den damit verbundenen Arbeitsaufwand in realisierbarer Größenordnung zu halten, wurde der Meßzeitraum auf die Spanne zwischen 8.00 und 14.30 Uhr reduziert.

Derartige Intensivstudien - so räumen die Autoren ein - sind lediglich unter den günstigen Arbeitsbedingungen von Versuchswäldern realisierbar.

In Urwäldern müssen - bedingt durch schlechte Zugänglichkeit und Begehrbarkeit - extensivere Methoden angewandt werden. KOLIC und JOVANOVIC, 1969, kamen in Jugoslawien bei Untersuchungen in Eichen-Buchenwäldern und solchen von Tanne-Birke auf folgende Weise zu Tages-Lichtkurven: Die Bestände waren ihrer örtlichen Lage nach so angeordnet, daß sie in einem sechsstündigen Rundgang je zweimal aufgesucht werden konnten. Dabei führte der Weg auch über eine Freifläche, auf der die Außenhelligkeit registriert wurde. An sechs aufeinanderfolgenden Tagen wurde dieser Rundgang, jeweils um eine Stunde verschoben, durchgeführt; so erhielt man Werte in 60-Minuten-Intervallen über den Zwölfstundentag. Die Brauchbarkeit der Ergebnisse steht und fällt natürlich mit den Wetterverhältnissen. KOLIC und JOVANOVIC konnten die sommerliche Schönwetterperiode mit wolkenlosem Strahlungswetter ausnutzen, die für das Gebiet ihrer Untersuchungen offenbar charakteristisch ist. Unbefriedigend bleibt jedoch bei

dieser Methode, daß die betreffenden Bestandeslichtklimate jeweils nur durch die Ergebnisse eines Meßpunktes repräsentiert wurden. Andere Autoren verzichteten lieber auf vollständige Tageskurven zugunsten besserer Repräsentation der örtlichen Schwankungen. OVINGTON und MADGWICK, 1955, führten ihre Messungen zwischen 10.00 und 14.00 Uhr durch. GATHERUM, 1961, zog die Mittagszeit vor (11 bis 13 Uhr). LULL und REIGNER, 1967, geben teils Tageskurven, teils Mittagswerte an.

VYNCKE, 1969, zeigt mit Hilfe mathematischer Ableitungen, daß Mittagswerte bei hoher, von Wolken ungestörter Außenhelligkeit die Verhältnisse im Tagesverlauf gut repräsentieren. Er weist an einem idealisierten Modell nach, daß die am Mittag im Bestandesinnern gemessene relative Helligkeit im gleichen Größenrahmen wie der entsprechende Tagesdurchschnittswert liegt. In seinem Beispiel erhielt er 0.54 % des Außenlichtes als relative Bestandeshelligkeit zu Mittag, während das Tagesmittel 0,59 % betrug. Damit wird die Eignung von Mittagswerten zur Charakterisierung der relativen Lichtverhältnisse im Inneren von dichtgeschlossenen Beständen demonstriert. Allerdings ist anzunehmen, daß sich diese Ergebnisse um so weniger auf die Praxis übertragen lassen, je höher der Anteil an direktem Licht ist, das durch Lücken im Kronendach ungehindert ins Bestandesinnere gelangen kann.

3.23 Repräsentation räumlicher Schwankungen der Lichtintensität

Auf den Wechsel des Lichtklimas von Ort zu Ort innerhalb von Waldbeständen wurde schon hingewiesen. TRAPP, 1938, unterzog sich der mühevollen Aufgabe, den "Lichtflecken-teppich" in einer Versuchsfläche von 50 x 50 m kartennäßig darzustellen und die Fläche durch Linien gleichen Lichtniveaus in verschiedene Helligkeitszonen zu unterteilen. Derartig aufwendige Kartierungsarbeiten rechtfertigen sich nur in Fällen exemplarischer Bedeutung.

NÄGELI, 1940, stellte die Variabilität der Lichtverhältnisse im Bestand anhand von Frequenzkurven dar, in denen er auf der Ordinate die Häufigkeiten (in % aller Messungen) auftrug, mit denen verschiedene relative Beleuchtungsstärken (Abszisse) im Bestandesinneren auftraten. OVINGTON und MADGWICK, 1955, wählten die gleiche Form der Darstellung. Dabei verglichen sie die Frequenzkurve aus einem Tannenbestand mit der eines Roteichenbestandes während und außerhalb der Vegetationszeit (siehe Abb. 41)

Was die Zahl der Messungen anbelangt, mit Hilfe derer man verlässliche Bestandesdurchschnittswerte erhalten kann, so lassen sich natürlich keine Generalregeln geben. GATHERUM, 1961, errechnete für eine von ihm untersuchte Parzelle, daß 292 "Momentaufnahmen" notwendig waren, um den gewünschten Fehlerrahmen von $\pm 10\%$ nicht zu überschreiten.

SCHOMAKER, 1968, ging einen anderen Weg. Er ermittelte in seinen Untersuchungsflächen das durchschnittliche Überschirmungsprozent und stellte anschließend einige kombinierte Meß-Schreibgeräte an solchen Punkten auf, deren Überschirmungsverhältnisse diesem ermittelten Bestandesdurchschnittswert entsprachen.

3.24 Probleme der Auswertung und Darstellung des Datenmaterials aus Lichtmessungen in Beständen

Eng verbunden mit den Problemen der zeitlichen und räumlichen Schwankungen der Meßdaten im Bestand ist die Frage der adäquaten Auswertung und Darstellung der Ergebnisse.

Abb. 41 zeigte, daß die Variablen der Meßwerte sich weit vom Bild der Normalverteilung entfernen. Dadurch wird die Anwendbarkeit von statistischen Methoden für Auswertung und Interpretation stark beeinträchtigt. Dieser Umstand

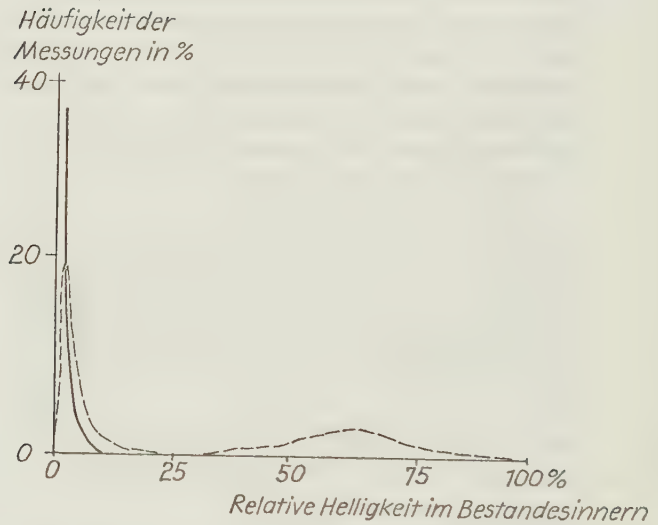


Abb. 41

Frequenzdiagramm verschiedener Helligkeiten in einer Nadelwaldparzelle (—) und einer Laubwaldparzelle (- - -). Nach OVINGTON und MADGWICK, 1955. Bei der Laubwaldparzelle zeigt der linke Gipfel den Sommerzustand, der rechte den Winterzustand an

verleitet viele Autoren, dem Nachweis der Vertrauenswürdigkeit ihrer Ergebnisse nicht die gebotene Aufmerksamkeit zu widmen.

Ein möglicher Weg - insbesondere beim Vergleich verschiedener Lichtklimate - ist die Anwendung nichtparametrischer Tests, wie z.B. des Rang-Summen-Tests (vergl. STEEL and TORRIE, 1960). Derartige Tests sind allerdings nicht sehr sensibel, d.h. sie gehen mit den registrierten Informationen verhältnismäßig unökonomisch um. Andere Möglichkeiten sind empirischer Art. So kann z.B. eine Stichprobe von Messungen durch Wiederholung und/oder Analogieschlüsse auf ihre Vertrauenswürdigkeit hin untersucht werden.

Ebenso ist es möglich, durch nachträgliche Reduzierung des Stichprobenumfanges zu verfolgen, ob und bis zu welchem Niveau herunter die so gebildeten Meßvariablen und ihre Mittelwerte robust sind.

LOGAN und PETERSON, 1964, belegen auf diese Weise die Vertrauenswürdigkeit ihrer Resultate, indem sie den Stichprobenumfang von 100 Meßpunkten auf 50 und schließlich sogar 25 Punkte reduzieren. Abb. 42 zeigt die entsprechenden 3 Variablen und deren Mittelwerte. Sie haben sich diesem "Test" gegenüber als sehr robust erwiesen, was für den repräsentativen Charakter der Stichprobe spricht.

Bei der Präsentation der Resultate von Lichtmessungen im Bestand ist im übrigen der relativen Form der Vorzug vor absoluten Meßergebnissen zu geben; nur so lassen sich Ergebnisse verschiedener Autoren miteinander vergleichen. Absolute Werte sind dagegen - angesichts der Unmöglichkeit, Photoelemente aus Selen allgemeingültig zu eichen - streng genommen unvergleichbar. (SAUBERER und HÄRTEL, 1959; HUSS, 1971, und andere). Wichtig ist, auch bei Wahl der relativen Form für die Angabe von Bestandeshelligkeiten die gemessene Außenhelligkeit gesondert anzugeben, weil die relative

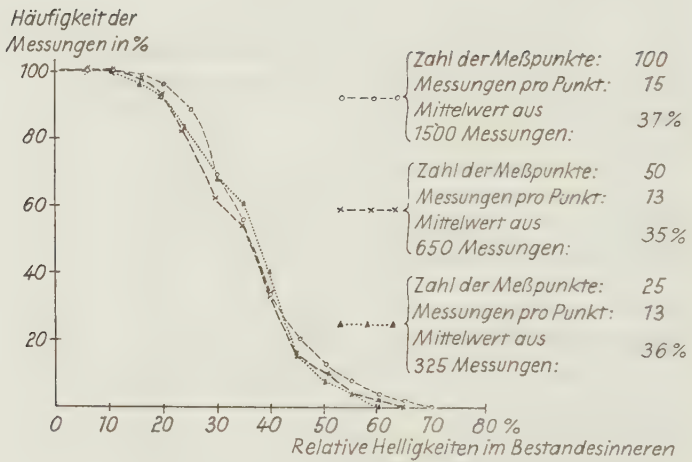


Abb. 42 Einfluß des Stichprobenumfanges auf den Verlauf einer Variablen relativer Helligkeiten im Bestand (nach LOGAN und PETERSON, 1964).

Helligkeit im Bestand (oder Beschattungsanlagen) bei sonst gleichbleibenden Bedingungen in gewissem Maße vom Niveau der Außenhelligkeit abhängt. (MITSCHERLICH et al., 1967; BURSCHEL und SCHMALTZ, 1965, und andere). Bei der Bildung von Durchschnittswerten muß bedacht werden, daß ihre ökologische Aussagekraft um so geringer ist, je weiter der zeitliche und örtliche Rahmen gewählt wird, aus dem die Einzelbeobachtungen stammen.

3.25 Beziehungen zwischen dem Lichtklima im Bestand und anderen Bestandesparametern

Für forstlich orientierte Untersuchungen kann es interessant sein, das Lichtklima zu bestimmten Bestandesparametern in Beziehung zu setzen, um zu überprüfen, inwieweit diese als Hilfsgrößen zur Charakterisierung der Lichtverhältnisse in Frage kommen.

Das nächstliegende Kriterium ist in diesem Zusammenhang wohl der Beschirmungsgrad. VEZINA und PECH, 1964, kommen zu signifikanten Korrelationen zwischen Überschirmungsprozent und relativer Strahlungsintensität¹⁾ im Bestandesinneren von Balsamtannen- und Jackpine-Beständen.

FAIRBAIRN, 1961, gelangt zu ähnlichen Ergebnissen, die allerdings darunter leiden, daß die Überschirmungsprozente nicht direkt ermittelt, sondern über die Stammumfänge hergeleitet wurden. Die Beziehungen sind entsprechend vage und entbehren der mathematisch-statistischen Untermauerung.

Hinsichtlich der Beziehung zwischen Überschirmungsprozent und Lichtklima in Wirtschaftswäldern weisen MITSCHERLICH et al. auf die starken Veränderungen hin, denen erstgenannter Bestandesparameter innerhalb kurzer Zeitspannen (z.B. zwischen zwei Durchforstungseingriffen) ausgesetzt sind.

1) Hier handelt es sich nicht um Licht-, sondern um Strahlungsmessungen mit dem Bellani-Pyranometer.

In Urwäldern ist das Überschirmungsprozent ebenfalls nicht besonders geeignet als Vergleichsparameter, weil hier wegen der Mehrschichtigkeit Doppel- und Vielfach-überschattungen vorkommen, die lichtökologisch sehr relevant sein können, durch das Überschirmungsprozent jedoch nur höchst unzureichend ausgedrückt werden.

LULL und REIGNER, 1967, halten die Stammzahl pro Flächeneinheit für einen brauchbareren Parameter als das Überschirmungsprozent. MILLER, 1959, empfiehlt die Summe der Brusthöhendurchmesser pro Flächeneinheit als brauchbaren Index zur indirekten Charakterisierung des herrschenden Lichtklimas. Von hier ist der Schritt zur Bestandesgrundfläche nicht weit. MITSCHERLICH et al. weisen eine klare Beziehung zwischen Innenhelligkeit und Kreisflächenhaltung von Fichten- und Douglasienbeständen in Süddeutschland nach.

Von Interesse kann auch sein, nach Beziehungen zwischen dem Lichtklima in der Verjüngungsetage einerseits und der Individuenzahl bzw. dem Entwicklungszustand der forstlichen Verjüngung andererseits zu suchen, weil sich daraus Vorstellungen über das Schattenerträgnis der beteiligten Baumarten ableiten lassen. Einen ersten Schritt in dieser Richtung ging FAIRBAIRN, 1963, als er das Lichtklima auf waldumrandeten Freiflächen unterschiedlicher Größe mit dem Entwicklungsstand der dort angelegten Nadelholzkulturen verglich. Ihm ging es allerdings um die Feststellung einer optimalen Größe der Kulturflächen unter dem Aspekt möglichst zuträglicher Belichtungsverhältnisse. Andere Freilanduntersuchungen mit ähnlicher Fragestellung waren bei Durchführung dieser Arbeit nicht bekannt.

3.3 Planung und Durchführung der Lichtmessungen im Rauli-Wald

3.31 Meßgeräte

Für die Lichtmessungen im Bestand und außerhalb standen je ein Handluxmeter der Firma Lange, Berlin zur Verfügung.

Die Übereinstimmung dieser beiden Geräte war sehr gut. Registriergeräte wie Fallbügel-Punktschreiber o.ä. waren nicht verfügbar.

Aus einer Anzahl vorhandener Platinopalfilter 1 : 100 wurden diejenigen beiden ausgewählt, die untereinander die höchste Übereinstimmung aufwiesen. Die Abweichung der beiden solcherart ausgerüsteten Geräte lag im vollen Außenlicht bei ca. 3 %. In allen Parzellen wurde jeweils das gleiche Gerät für die Messung der Außenhelligkeit bzw. der Helligkeit im Bestand gewählt. Auch die Filter wurden nie vertauscht.

3.32 Vorbereitungen der Aufnahmeflächen und Planung des Meßvorganges

Entsprechend der im Abschnitt 3.1 dargestellten Problemstellung wurden die Außenarbeiten in zwei verschiedene Phasen unterteilt:

In einem ersten Schritt galt es, für jede Parzelle das Lichtklima im Bestand durch entsprechende Flächendurchschnittswerte zu repräsentieren.

Zu diesem Zweck wurde in jeder Fläche der Weg markiert, den die Meßperson zur Durchführung der jeweiligen Meßserie zu absolvieren hatte. Abb. 43 zeigt die quadratische Parzelle NAHUELBUTA I (1 ha) mit den durch Pfeile gekennzeichneten Meßpfaden. Beim Freiräumen der Pfade wurde peinlich darauf geachtet, daß keinerlei Eingriffe in der Strauchschicht vorgenommen wurden, um das Lichtklima in Meßhöhe (1 m über dem Boden) nicht zu beeinflussen.

Gleichzeitig wurde für jede Urwaldparzelle eine Station für die Messung des Außenlichtes vorgesehen. In NIBLINTO fand sich in unmittelbarer Nähe des Bestandes eine größere Freifläche, auf der Außenlichtmessungen durchgeführt werden konnten. In NAHUELBUTA I und LOS CHENQUES mußte die Außenlichtstation jeweils in die Krone eines vorherrschenden Baumes verlegt werden. Abb. 44 a zeigt die

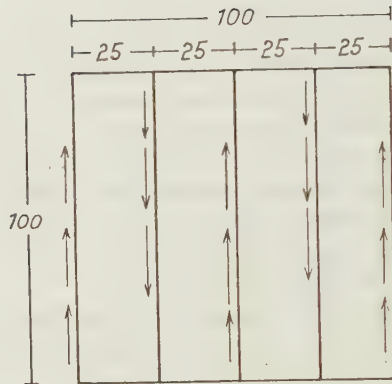


Abb. 43 Verlauf der Meßpfade zur Ermittlung der mittleren Bestandeshelligkeit in NAHUELBUTA

entsprechende Einrichtung in NAHUELBUTA. In ARQUILHUE, schließlich, mußte wegen der enormen Höhen, insbesondere der Coigüe-Alt-Bäume anders verfahren werden. Hier wurde die Außenlichtstation mangels anderer Möglichkeiten auf dem Grunde einer benachbart gelegenen Schlucht errichtet, in die vom späten Morgen bis zum frühen Nachmittag volles Sonnenlicht fiel. Die Zahl der Messungen im Bestand wurde für Flächengrößen von 1 ha auf ca. 450 festgelegt; für die kleinere Fläche in NIBLINTO auf ca. 250. Die Meßperson hatte dem Farbton nach indifferente Kleidung zu tragen, um Einflüsse durch Reflektion auszuschalten. Messungen im Körperschatten wurden sorgfältig vermieden. Der Meßperson hatte in geringem Abstand eine zweite Person zu folgen, die die abgelesenen Lux-Werte kontinuierlich auf ein vorgefertigtes Formular zu übertragen hatte. Zwischen



a)



b)

- Abb. 44 Installationen in den Untersuchungsflächen für die Durchführung von Lichtmessungen
- a) Außenlichtstation in der Krone eines vorherrschenden Baumes in der Parzelle NAHUEL BUTA
 - b) Installation eines Meßtisches zur Bestimmung des Lichtklimas im Bereich einer ausgewählten Pflanze

diesem Meßtrupp und der Außenlichtstation bestand Hörweite; Synchronisation von Außen- und Innenmessungen konnte durch Trillerpfeifensignale erreicht werden. Zur Kontrolle der Vertrauenswürdigkeit der Meßergebnisse wurden Wiederholungsmessungen geplant, eine Maßnahme, die natürlich nur bei gleicher Wetterlage und annähernd gleichem Sonnenstand als sinnvoll erachtet wurde.

Wichtig im Sinne der Erstellung vergleichbarer Ergebnisse war auch die zeitliche Planung der Meßarbeiten. Einerseits galt es, die Außenaufnahmen auf einen möglichst kurzen Zeitraum innerhalb der Vegetationszeit einzuschränken, um größere Unterschiede in der Außenhelligkeit durch unterschiedlichen Sonnenstand zu vermeiden. Extreme Außenlichtsituationen, die in Südchile Ende Dezember/Anfang Januar vorkommen, wo in den Mittagsstunden oft 120 Kilo-Lux erreicht werden, mußten wegen Fehlens von entsprechend starken Filtern (1:150) ausgeklammert werden.

Aus den genannten Gründen und solchen arbeitstechnischer Art wurde der Monat März für die Messung der betreffenden Bestandeshelligkeit vorgesehen. Dieser Monat ist auch von der Wetterlage her noch sehr geeignet, weil in Südchile im Spätsommer noch das charakteristische Strahlungswetter mit durchschnittlich mehr als 7 Stunden täglicher Sonnenscheindauer vorherrscht, das die Vegetationszeit insgesamt auszeichnet. Abb. 45 gibt für die Wetterstation Valdivia die Zahl der täglichen Sonnenstunden im Monatsdurchschnitt an (HUBER, 1970, zitiert nach WEINBERGER, 1973). Für die weiter nördlich gelegenen Untersuchungsflächen kann mit noch höherer täglicher Sonnenscheindauer im März gerechnet werden.

Was die Tageszeit anbelangt, innerhalb derer die Flächen-durchschnittswerte der jeweiligen Bestandeshelligkeiten zu ermitteln waren, so fiel die Entscheidung in Anlehnung an die Erfahrungen anderer Autoren auf die Mittagszeit (GATHERUM, 1961; LULL and REIGNER, 1967; VYNCKE, 1969).

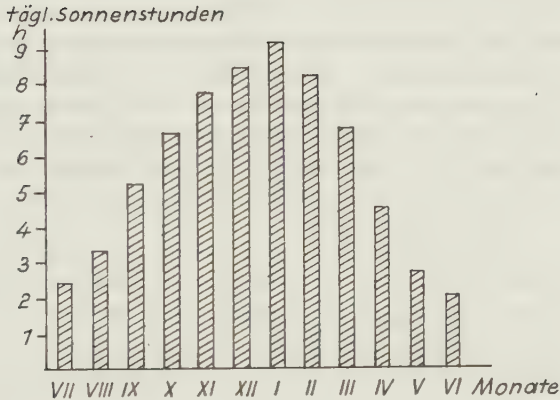


Abb. 45 Tägliche Sonnenstunden im Monatsdurchschnitt in der Wetterstation Valdivia (1960 - 1969)

Die bis hierher erörterte meßtechnische Verfahrensweise bezog sich auf die Fragestellung nach den Bestandeshelligkeiten im Flächendurchschnitt der ausgewählten Urwaldparzellen. Abweichend davon mußte die zweite Problemstellung behandelt werden, in der es um die Erarbeitung von Näherungswerten bezüglich der Minimumbedürfnisse an Licht von Nothofaguspflanzen in der Verjüngung ging.

Hier mußten statt Mittagswerten Tagessummen, bzw. Tagesdurchschnittswerte erstellt werden, und zwar an solchen Stellen im Bestand, an denen Nothofagusverjüngung vorhanden war, und bei für die Vegetationszeit typischer Witterung. Zu diesem Zwecke wurden in denjenigen Urwaldparzellen, die überhaupt eine derartige Verjüngung aufwiesen, Einzelpflanzen von N. alpina, N. dombeyi und - wo vorhanden - N. obliqua ausgesucht, die nach ihrem

Wuchs, ihrem physiologischen Zustand (z.B. Ausbildung von Schattenblättern) und den über ihnen herrschenden Beschirmungsverhältnissen in augenscheinlicher Weise den Bereich minimalen Lichtgenusses repräsentierten. Weiterhin wurden Meßtische angefertigt, die durch Belassung einer entsprechenden Aussparung so unter die Pflanze geschoben werden konnten, daß diese sich im Zentrum der Meßebene befand (siehe Abb. 44 b). Die Aufstellung der Meßbretter erfolgte mit Hilfe einer Wasserwaage.

Auf diese Tische, deren Oberfläche im Ton des laubbedeckten Waldbodens eingefärbt war, wurde ein systematisches Gitternetz gezeichnet unter Hervorhebung der entsprechenden Knotenpunkte.

Es wurde angenommen, daß das für die Pflanze charakteristische, von der Überschirmung verursachte Lichtmosaik einigermaßen zutreffend repräsentiert werden könnte durch Lichtmessungen an allen Punkten des Gitternetzes, die in den Bereich der Kronenumfanglinie der Verjüngungspflanze fielen. Während der Messungen wurde die Pflanze zur Vermeidung von Selbstbeschattungen ihrer Projektionsfläche zurückgebogen. Der zeitliche Ablauf der Messungen wurde so geplant, daß in einem Rundgang von viertelstündiger Dauer an jeder der ausgesuchten Pflanzen die entsprechenden Punkte (10 bis 25 Stck) einmal durchgemessen werden konnten. Gleichzeitig wurde mit dem anderen Handluxmeter kontinuierlich alle 5 Minuten die Außenhelligkeit gemessen.

Auf diese verhältnismäßig mühselige Weise war es möglich, trotz des Fehlens von Registriergeräten zu Tageskurven des Außenlichtes und zu solchen des Belichtungsganges innerhalb des Bestandes im Bereich der ausgewählten "Minimumpflanzen" zu gelangen.

Hinsichtlich der Witterungsverhältnisse wurde auch für diesen Teil der Untersuchung klares Strahlungswetter ausgewählt. Der Aufnahmezeitraum innerhalb der Vegetationszeit war dagegen unerheblich, weil Vergleiche zwischen den verschiedenen Urwaldparzellen im Zusammenhang mit der genannten Problemstellung nicht angestrebt wurden. Bei den Außenaufnahmen, die sich bis in die Sommermonate des Jahres 1972 hinzogen, kam erstmalig ein Platinopalfilter der Stärke 1:150 für die Außenlichtmessungen zum Einsatz.

3.4 Ergebnisse

3.41 Ermittlung von Flächendurchschnittswerten zur Charakterisierung des Lichtklimas in verschiedenen Urwäldern vom Typ Raulí-Coigüe - (Roble)

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus allen vier untersuchten Urwaldparzellen gibt Tab. 42. Aus Spalte 2 läßt sich entnehmen, daß alle Messungen innerhalb der Zeitspanne von einem Monat durchgeführt werden konnten. Dennoch waren selbst bei völlig wolkenlosem Strahlungswetter und gleicher Tageszeit die gemessenen Außenhelligkeiten keineswegs identisch. Neben der unterschiedlichen geografischen Lage und Verschiedenheiten im Feuchtigkeitsgehalt der Luft sind hierfür vermutlich auch die unterschiedlichen Meereshöhen von Einfluß, in denen die Urwaldparzellen liegen. Immerhin gelang es, die Außenhelligkeiten im Bereich von ca. 70.000 bis 95.000 Lux einzugabeln. Schwankungen innerhalb dieses sehr hohen Intensitätsbereiches wirken sich erfahrungsgemäß nur unerheblich auf die Höhe des relativen Lichtpegels im Bestandesinneren aus. Das läßt sich mit den Erfahrungen MITSCHERLICH's (1967) belegen, der die Abhängigkeit der relativen Beleuchtungsstärke von der Bestandeskreisfläche bei verschiedenen Außenhelligkeiten demonstrierte (siehe Abb. 46).

Danach nähern die Werte der relativen Helligkeit im Bestandesinnern einander nicht nur mit zunehmender Grundflächenhaltung, sondern auch mit zunehmender Außenhelligkeit. Zwischen Außenlichtpegeln von 50 Kilolux und 70 Kilolux sind die Unterschiede nur noch in niedrigen Kreisflächenbereichen relevant. Das gilt verstärkt für die im Rahmen dieser Untersuchung gefundenen Außenhelligkeiten zwischen 70 und 95 Kilolux.

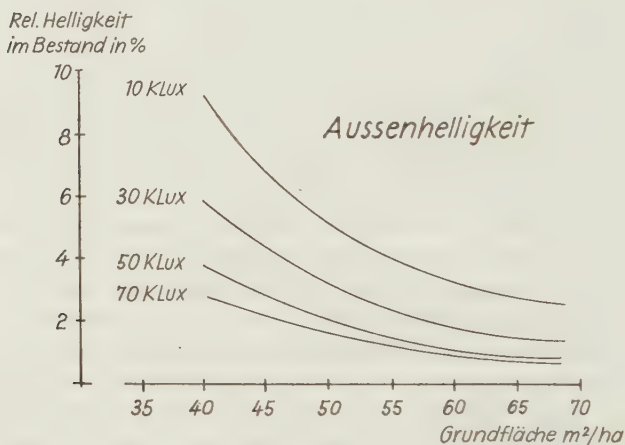


Abb. 46 Einfluß der Bestandesgrundfläche sowie verschiedener Außenhelligkeiten, auf das Lichtklima im Bestandesinnern von Fichtenalthölzern (nach MITSCHERLICH, 1967)

Die Zahl der vorgenommenen Messungen pro Parzelle sind in Spalte 4 der Tabelle 42 wiedergegeben. In drei von 4 Fällen gelang es, Wiederholungsmessungen an einem der Folgetage durchzuführen; nur in NAHUEL BUTA wurden durch heftige Rauchentwicklung anlässlich eines nahegelegenen Waldbrandes die lichtklimatischen Bedingungen an den

1 Bezeichnung der Urwaldparzelle	2 Datum der Messungen	3 Außenlichtinten- sität in lux (Mittagszeit)	4 Zahl der Messungen	Flächendurchschnitts- wert in lux + Stand- ardfehler	5 S %	Bestandesheiligkeit in % des Außenlichtes
LOS CHENQUES	22./23.-III -71	75.000	474 (456)	10.283 ± 840 (12.704 ± 977)	8,1 (7,7)	13,5 (16,8)
NAHUELETA	28.-II-72	94.000	429	6515 ± 631	9,7	6,9
NIELETO	30./31.-III -71	69.000	263	1.798 ± 275 (1.936 ± 317)	15,3 (16,4)	2,6 (2,8)
ARQUILHE	10./15.-III -71	71.000	435 (445)	1.726 ± 223 (1.573 ± 185)	11,7 (12,9)	1,45 (1,50)

Tab. 42 Meßresultate zur Beschreibung des Lichtklimas im Bestandesinnern von vier Rauli-Urwaldparzellen. Die in Klammern gesetzten Werte stellen die Ergebnisse von Wiederholungsmessungen dar.

Folgetagen so stark verändert, daß von einer Wiederholungsmessung abgesehen werden mußte. Die Ergebnisse der Wiederholungen sind in Klammern unter die der Originalmessungen gesetzt.

Spalte 5 wirft die errechneten Flächen-Durchschnittswerte in absoluten Maßeinheiten (Lux) aus. Die Repräsentationsfehler, mit denen diese Mittelwerte belastet sind, konnten - trotz der riesigen Schwankungsbreite der gemessenen Werte von Ort zu Ort - mit Hilfe des großen Stichprobenumfangs gering gehalten werden. Sie liegen, ausgedrückt in Prozent des Mittelwertes, zwischen 7,7 und 16,4 % (Spalte 6)

Spalte 7 gibt schließlich die relativen Helligkeiten im Innern der Urwaldparzellen an, ausgedrückt in % der jeweils herrschenden Außenhelligkeit.

Es zeigt sich, daß die verschiedenen Bestandestypen innerhalb des Raulí-Coigüe-(Roble) Urwaldes sich durch ganz unterschiedliche Lichtklimata auszeichnen, die zwischen Extremen von 16,8 % und 1,5 % der Außenhelligkeit schwanken. Der mehrschichtige Bestandestyp (ARQUILHUE und NIBLINTO) zeichnet sich in diesem Zusammenhang durch sehr niedrige Flächendurchschnittswerte aus, während der Plenterwald von NAHUELBUTA eine Zwischenstellung einnimmt. Die größte relative Helligkeit herrscht im einschichtigen Bestand von LOS CHENQUES.

Um die vorgefundenen Unterschiede auf ihre Signifikanz hin zu untersuchen, wurden zunächst die Verteilungen der Meßwerte um ihren jeweiligen Mittelwert genauer analysiert. Abb. 47 gibt anhand der entsprechenden Frequenzkurven einen grafischen Eindruck von den Lichtverteilungsmustern innerhalb der vier untersuchten Bestände. Allen gemeinsam ist die starke Abweichung von der Normalverteilung, die für Vergleiche die Verwendung eines nicht-parametrischen Tests zwingend notwendig

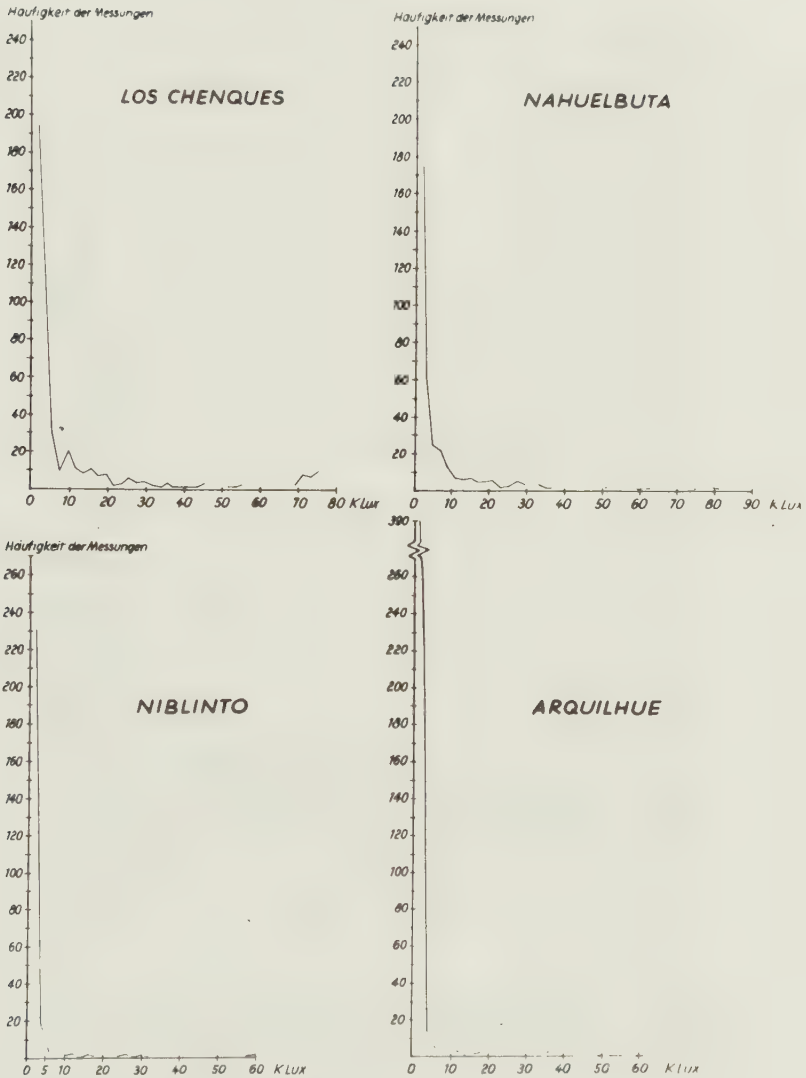


Abb. 47 Frequenzdiagramme der gemessenen Helligkeiten
im Innern der Urwaldparzelle LOS CHENQUES,
NAHUELBUTA, NIBLINTO und ARQUILHUE

macht. Der hier angewandte Rangsummentest ergab Signifikanz zwischen allen Mittelwerten mit Ausnahme derjenigen von ARQUILHUE und NIBLINTO.

Eine anschauliche Darstellung der verschiedenen Lichtklimate und ihrer Verteilungscharakteristika gibt die Abb. 48, in der auf der Abszisse die verschiedenen relativen Helligkeiten im Bestandesinneren aufgetragen sind und auf der Ordinate die kumulierten Frequenzen in % der Gesamtzahl aller Messungen. Aus den Kurven, die die Situationen in den vier Urwaldparzellen wiedergeben, läßt sich jeweils ablesen, bei wieviel Prozent aller Punkte ein bestimmter relativer Schwellenwert erreicht oder überschritten ist. Diese Art der Darstellung geht auf eine Anregung von LOGAN und PETERSON, 1964, zurück.

Ein denkbare Anwendungsbeispiel dieser Grafik ist das folgende: Angenommen, lichtökologische Untersuchungen in Nothofagusverjüngungen seien zu dem Ergebnis gekommen, daß für eine zufriedenstellende Entwicklung der jungen Pflanzen eine relative Helligkeit von mindestens 7 % des Außenlichtes herrschen müßte; dann ließe sich für diesen (und jeden anderen) Fall aus der Kurve der kumulierten Lichtfrequenzen ablesen, auf wieviel % der Fläche dieser Schwellenwert erreicht oder überschritten wird. In den Urwaldparzellen LOS CHENQUES beträgt der Flächenanteil mit 7 % Außenhelligkeit beispielsweise 41 %, es finden sich also auf 0,41 ha der insgesamt 1 ha großen Fläche die gewünschten bzw. noch bessere Lichtbedingungen.

3.411 Einfluß einer Wolkendecke auf relative und absolute Helligkeit im Bestand

Obwohl der Fall einer geschlossenen Bewölkung als Seltenheit innerhalb des Untersuchungszeitraumes angesehen werden muß, wurde interessehalber in der Parzelle

Häufigkeit der
Messungen in %

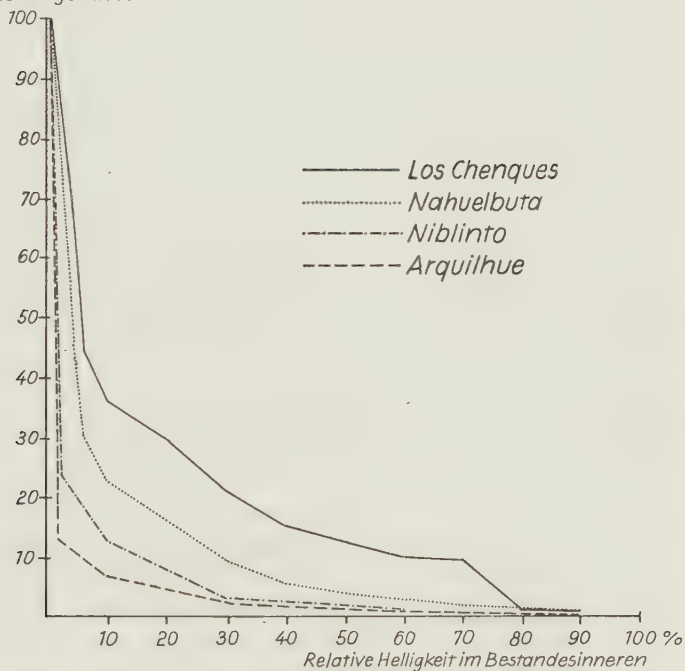


Abb. 48 Kumulierte Frequenzen der registrierten relativen Helligkeiten im Innern von 4 Urwaldparzellen.

NAHUELBUTA I eine solche Wetterlage ausgewählt und in ihrem Einfluß auf das absolute und relative Lichtklima im Bestand verglichen mit einem wolkenlosen Strahlungswetter.

Die Ergebnisse sind in Abb. 49 dargestellt. Die Grafik läßt erkennen, daß bei Strahlungswetter (linke Bildseite) Außenhelligkeiten von im Schnitt 94 Kilolux, bei Bewölkung (rechte Bildseite) dagegen nur von 20 Kilolux gemessen werden konnten, beides zur Mittagszeit. Demgegenüber fällt der Lichtpegel im Bestand von 6800 auf 1500 Lux. Die relative Helligkeit im Bestandesinnern verhält sich demgegenüber anders. Sie steigt mit sinkender Außenhelligkeit an (vergl. Mittelskala). Dieses Phänomen ist auch aus anderen lichtökologischen Untersuchungen in Waldbeständen bekannt. Auf die Ergebnisse MITSCHERLICH's wurde a.a.O. hingewiesen. OVINGTON und MADGWICK führten lichtökologische Untersuchungen bei unterschiedlichen Außenhelligkeiten in verschiedenen künstlich begründeten Beständen durch, unter denen sich auch ein Stangenholz von Nothofagus obliqua befand. Die entsprechenden Werte in Abb. 50 zeigen verhältnismäßig hohe relative Helligkeitswerte im Bestand bei niedriger Außenhelligkeit, die mit steigender Intensität des Außenlichtes abfallen. Ähnliche Erfahrungen wurden in Freilandversuchen mit Beschattungseinrichtungen gewonnen (BURSCHEL und SCHMALTZ, 1965; HUSS, 1971; RÖHRIG, 1967). Im Falle des Plenterwaldes von NAHUELBUTA ist der Anstieg der relativen Helligkeit im Bestand bei Sinken der Außenlichtintensität jedoch weit weniger markant. Auschlaggebend dafür mag der höhere Anteil des direkten Lichtes sein, der bei Strahlungswetter durch das vergleichsweise lückige Kronendach fällt und dann für das Lichtklima im Bestandesinnern sehr bestimmend ist. Demzufolge wirkt sich die Abnahme (und qualitative Veränderung) des Außenlichtes durch Bewölkung stärker auf den Lichtpegel im Bestandesinnern aus, als das unter

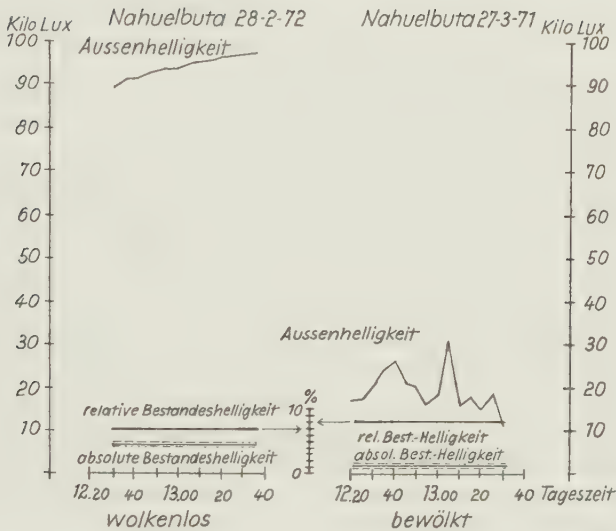


Abb. 49 Außenhelligkeiten und ihr Einfluß auf die absoluten und relativen Helligkeiten im Bestandesinnern ein und desselben Bestandes bei Strahlungswetter bzw. Bewölkung

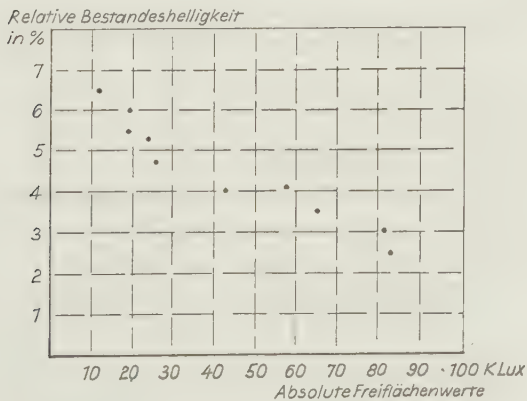


Abb. 50 Beziehungen zwischen Außenhelligkeit und relativer Helligkeit im Bestandesinnern eines Stanzholzes von *N. obliqua* (nach OVERTON und MADGWICK, 1955)

Jalousienabdeckungen in Beschattungsanlagen oder auch in geschlossenen gleichaltrigen Stangenhölzern der Fall ist.

3.412 Zustand des Blätterdaches und sein Einfluß auf die Helligkeit im Bestand

Für die Parzelle NAHUELBUTA stand außer dem bereits genannten Flächendurchschnittswert vom 28.2.1972 ein entsprechender Wert vom Vorjahr aus dem späten Frühjahr (12.11.1971) zur Verfügung, bei identischer Außenhelligkeit von 94 Kilolux während der Mittagszeit. Dieser Umstand legte einen Vergleich der Lichtdurchlässigkeit des hellgrünen Frühjahrslaubes (voll entfaltet) mit dem dunkelgrünen Spätsommerlaub nahe. Abb. 51 zeigt die entsprechenden Relationen. Der Lichtpegel im Bestand beträgt im vorgerückten Frühjahr ca. 8.500 Lux, während er im Spätsommer nur noch 6.500 Lux erreicht. Dieser Unterschied erwies sich nach dem Rang-Summen-Test als signifikant.

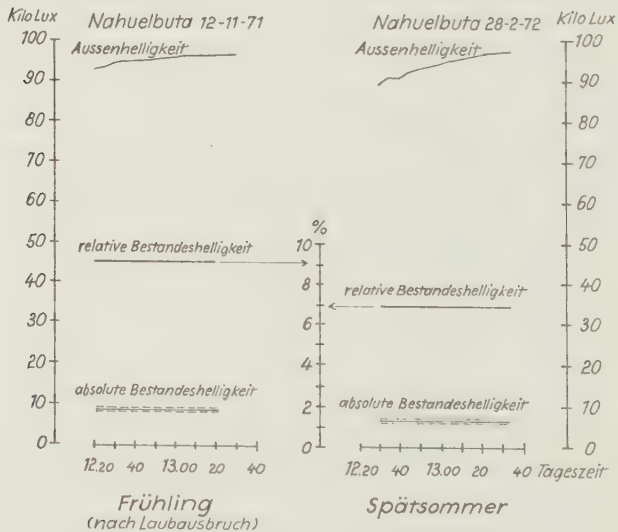


Abb. 51 Einfluß von Frühjahr- bzw. Spätsommerbe-
laubung auf das Lichtklima im Bestandesinnern.

3.413 Beziehungen zwischen relativer Bestandeshelligkeit und Kreisfläche

Über die Beziehungen zwischen den Kreisflächen der Baumbestände in den Urwaldflächen und der relativen Helligkeit im Bestandesinnern gibt Abb. 52 a Auskunft. Dabei nimmt ARQUILHUE insofern eine Sonderstellung ein, als die relative Helligkeit in dieser Parzelle unter derjenigen von NIBLINTO liegt, obwohl die letztgenannte Parzelle über eine bedeutend höhere Bestandesgrundfläche verfügt. In der Tat wirkte sich in ARQUILHUE neben dem Baumbestand auch das dichte Chusquea-Dickicht stark auf das Lichtklima aus, was bei den anderen Parzellen nicht der Fall war. Dieses Bambusdickicht, das mit rd. 64.000 Individuen pro ha vertreten war, läßt sich unschwer in Kreisflächeneinheiten quantifizieren und könnte so der Bestandesgrundfläche zugerechnet werden¹⁾. Verfährt man in dieser Weise, so ergibt sich die in Abb. 52 b dargestellte grafische Beziehung, die den wirklichen Verhältnissen sicher sehr viel näher kommt. Auf mathematische Herleitung des funktionalen Zusammenhanges wurde angesichts der geringen Zahl an Beobachtungen verzichtet.

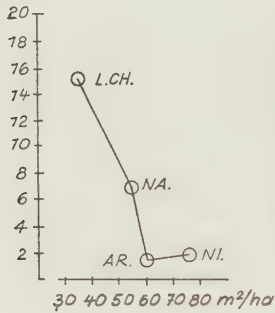
3.414 Beziehungen zwischen relativer Bestandeshelligkeit und dem Vorhandensein von Nothofagusverjüngung

Auf die Abhängigkeit der Nothofagusverjüngung vom Niveau der Bestandesgrundfläche wurde im Abschnitt 2.41 näher eingegangen (siehe auch Abb. 39). Angesichts der klaren Beziehungen zwischen dem Lichtklima im Bestandesinnern und der Grundflächenhelligkeit der betreffenden Bestände konnte erwartet werden, daß sich auch bei direkter Gegenüberstellung von Nothofagusverjüngung und relativer Helligkeit

1) Geht man von einer durchschnittlichen Rohrstärke von 2,5 cm in Brusthöhe aus, so beträgt die Kreisfläche von 64.000 Rohren 31,4 m².

rel. Bestandes-
helligkeit in %

a)



b)

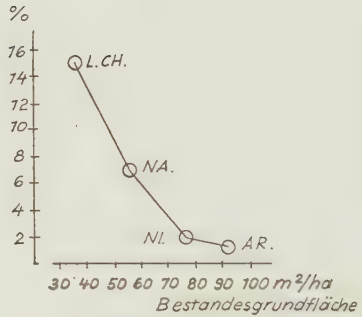


Abb. 52 Beziehungen zwischen Bestandesgrundfläche und relativer Helligkeit in vier Urwaldparzellen bei Außenhelligkeiten im Bereich zwischen 69 und 94 Kilolux.
a) Ohne Berücksichtigung des Bambus-Unterstandes
b) Nach Hinzurechnen der Kreisfläche des Bambus-Unterstandes zur Bestandesgrundfläche

im Bestand ein erstes provisorisches Beziehungsdiagramm würde erhalten lassen. Abbildung 53 zeigt die entsprechende Relation, so wie sie sich in den vier untersuchten Urwaldparzellen darstellte.

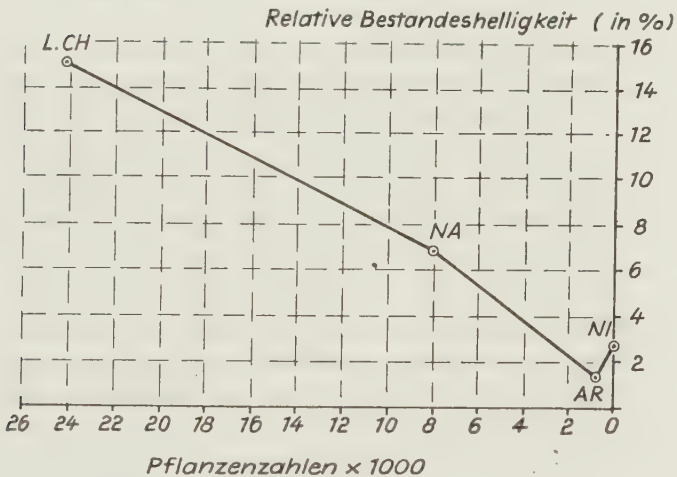


Abb. 53 Beziehungen zwischen relativer Helligkeit im Bestandesinnern und Anzahl von Nothofaguspflanzen in der Verjüngungsetage.

Wieder nimmt ARQUILHUE eine Sonderstellung ein, weil sich in dieser Parzelle trotz des extrem niedrigen Flächen-durchschnittswertes der Bestandeshelligkeit dennoch eine gewisse Anzahl von Nothofaguspflanzen in der Verjüngungsetage gefunden hatte. Dies ist leicht zu verstehen, wenn

man sich vergegenwärtigt, daß in ARQUILHUE das Chusquea-Dickicht einen wesentlichen Einfluß auf den Lichtpegel im Bestande hatte. Nach Art der Bambusgewächse tritt Chusquea coleu jedoch nicht gleichmäßig, sondern straußförmig auf, so daß der Beschattungseffekt in der Parzelle ungleichmäßiger war als in der insgesamt etwas helleren Urwaldparzelle von NIBLINTO. Das wird auch durch die Standardfehler belegt, mit denen die Flächen-Durchschnittswerte aus ARQUILHUE und NIBLINTO belastet sind. Trotz des viel geringeren Stichprobenumfangs in NIBLINTO (ca. 250 Messungen) ist der Fehler dort nur unwesentlich höher als in ARQUILHUE (ca. 425 Messungen), was durch die größere Gleichmäßigkeit der Helligkeitsverteilung in NIBLINTO verständlich wird.

Als praxisrelevante Schlußfolgerung kann der Abb. 53 entnommen werden, daß - wie das Beispiel der Parzelle NAHUELBUTA zeigt - u.U. schon Flächendurchschnittswerte von weniger als 7 % des Außenlichtes¹⁾ zur Etablierung einer waldbaulich zufriedenstellenden Nothofagusverjüngung ausreichen.

3.42 Ermittlung von Näherungswerten bezüglich der Minimalbedürfnisse an Licht von Nothofaguspflanzen in der Verjüngungsetage

Flächendurchschnittswerte während bestimmter, enger Zeiträume im Verlauf eines Tages sind für den Einzelfall, wie beispielsweise einen ganz bestimmten Ort innerhalb der Untersuchungsfläche, an dem sich Nothofagusverjüngung eingefunden hat, ohne jeden ökologischen Aussagewert. Ökologisch befriedigend wären nur die Lichtsummenwerte, die eine vorher derterminierte Pflanze über die Vegetationszeit hin mindestens benötigt, um diese Periode

1) Auf die Bedingungen, unter denen diese Meßergebnisse gewonnen wurden, soll noch einmal hingewiesen werden. Es handelt sich um Mittagswerte bei klarem Strahlungswetter und einer absoluten Außenlichtintensität von 94 Kilolux.

lebend zu überstehen. Die Durchführung derart langwieriger und vollständiger Messungen ist unter natürlichen Verhältnissen im Freiland, zumal bei einem so schwierigen Untersuchungsobjekt wie es die Bergwälder von Raulí darstellen, ohne unverhältnismäßig großen Aufwand an Personal und Geräten gar nicht möglich. Hier konnte es daher nur um eine Näherungslösung gehen, wie sie im Abschnitt 3.32 bei der Darstellung der entwickelten Aufnahmemethodik eingehend dargestellt wurde.

Stellvertretend für alle Parzellen soll Abb. 54 einen Eindruck von der Tageskurve des Außenlichtes im Verhältnis zum Belichtungsgang an drei ausgewählten Verjüngungspflanzen geben. Die Tagessummen wurden auf planimetrischem Wege hergeleitet. Außerdem wurden aus den Einzelwerten, die im vorher festgesetzten Intervallabstand abgelesen worden waren, die Tagesdurchschnittswerte ermittelt.

Tab. 43 gibt in ihrem linken Teil die Lichtsummenergebnisse wieder. Maßeinheit ist hier die Kiloluxstunde; der Meßtag beträgt 8 Stunden, die zu gleichen Teilen vor und nach dem Zenithstand der Sonne liegen. Noch früher morgens und noch später abends waren die Lichtwerte im Bestand so niedrig, daß sie für die Tagessummen unerheblich waren. Spalte 6 zeigt, daß mit Ausnahme eines Ausreißerwertes bei Coigüe in LOS CHENQUES¹⁾ der relative Lichtgenuß der ausgesuchten "Minumpflanzen" nicht einmal 4 % der im Freien gemessenen Tageslichtsummen beträgt. Für eine einwandfreie Abstufung der Minimalbedürfnisse innerhalb der drei Nothofagusarten reicht das Material nicht aus.

1) Hier war es bei dem allgemein sehr günstigen Lichtklima nicht gelungen, eine Coigüe-Pflanze zu finden, die den Bereich minimalen Lichtgenusses repräsentierte.

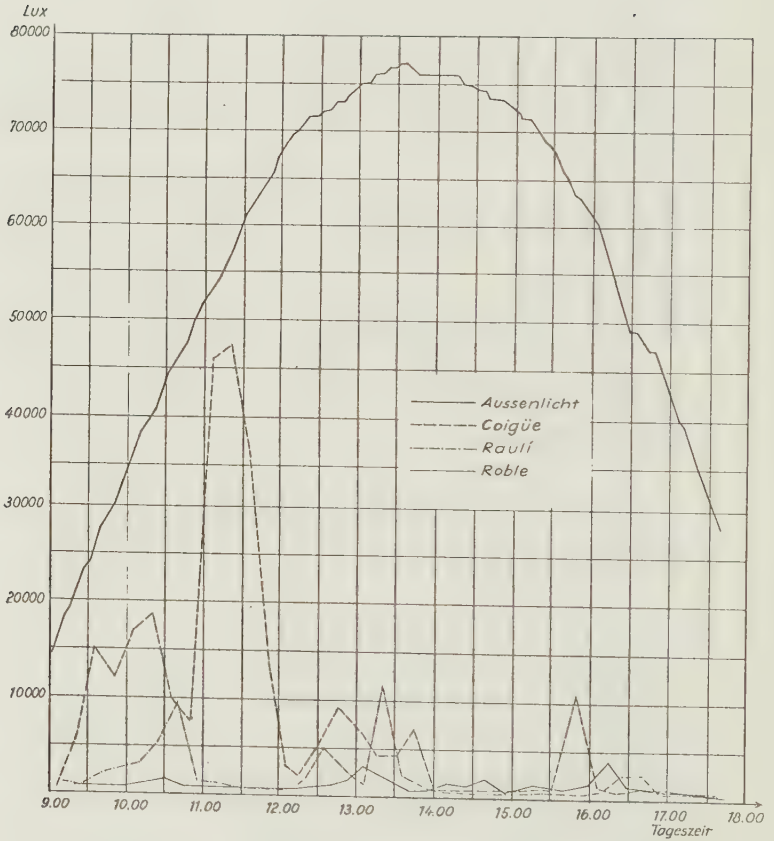


Abb. 54 Tagesgang des Außenlichtes und Helligkeitsschwankungen im Bereich dreier ausgewählter Nothofaguspflanzen im Bestandesinnern der Parzelle LOS CHENQUES

----- Coigüe
-.-.- Raulí
——— Roble

		Tagessummen in Kiloluxstunden					Tagesdurchschnittswerte in lux			
Bezeichnung der Urwaldparzelle	Datum der Messungen	Freifläche (8-Stadtag)	Spezies der ausgewählten "Minimumpflanzen"	Im Bereich der ausgew. Pflanze an Sp. 5	Anteil Sp. 5 %	Freifläche im Bereich der ausgewählten Minimumpflanze	S % an Spalte 7	Anteil Spalte 8		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
LOS CHENQUES	22-III-71	465	Roble	13,2	2,9	1.341	9,6	2,5		
			Rauli	18,0	3,8	59.170	19,3	4,3		
			Coigüe	71,0	15,2	8.464	23,4	17,3		
NAHELEUTA	25-II-72	650	Roble	14,5	2,2	1.229	19,6	1,6		
			Rauli	19,9	3,1	82.510	13,1	2,2		
			Coigüe	25,5	3,9	1.966	19,6	2,5		
ARQUILHUE	20-I-72	800	Tepa	7,2	0,9	698	25,4	0,7		
			Rauli	15,5	1,9	101.498	38,0	1,4		
			Coigüe	15,8	2,0	1.583	30,4	1,5		

Tab. 43 Meßresultate der Studie über die Minimumbedürfnisse an Licht von Nothofaguspflanzen in überschirmten Naturverjüngungen

Bemerkenswert ist der Wert für eine Tepapflanze in ARQUILHUE, die mit weniger als 1 % der Tagessumme auf der Freifläche auskam, während die benachbarte Raulí-Pflanze mit 1,9 % dem Erscheinungsbild nach kurz vor dem Absterben war.

Demzufolge kann geschlossen werden, daß unter Freilandbedingungen der vorgefundenen Art Tageslichtsummen in der Größenordnung zwischen 2 und 3 % der Freifläche den Grenzbereich charakterisieren, unterhalb dessen eine Existenz von Nothofaguspflanzen ausgeschlossen ist. Dieser Wert gilt für das typische Strahlungswetter während der Vegetationszeit. Es ist anzunehmen, daß er sich unter der Einwirkung von Bewölkung erhöht. Allerdings hatte ein entsprechender Vergleich in NAHUELBUTA ergeben (siehe Abschnitt 3.41), daß die Erhöhung des relativen Lichtpegels unter dem Einfluß einer Wolkendecke in Beständen dieser Art geringfügiger ist, als nach der Literatur zu erwarten ist.

Die rechte Seite der Tab. 43 zeigt den Vergleich von Tagesdurchschnittswerten im Bestand und auf der Freifläche. Spalte 10 weist aus, daß die auf diese Weise errechneten und in relative Form überführten Tagesdurchschnitte generell die gleichen Größenordnungen repräsentieren, wie die Tagessummenwerte. Das ist vom Gesichtspunkt der Auswertungstechnik von Interesse, weil auf diese Weise das mühselige und nicht immer genaue planimetrische Verfahren umgangen werden kann.

3. 5 Diskussion und Folgerungen

Im Verlauf der Verjüngungsstudien im Rauli-Coigüe-Wald, deren Ergebnisse im Kapitel 2 geschildert und diskutiert werden, rückt das Schattenerträgnis junger Nothofagus-pflanzen als wichtiger Faktor für ihre Entwicklung und ihr Durchsetzungsvermögen in den Vordergrund des Interesses.

Dieses Problem konnte jedoch mit inventurtechnischen Mitteln nur unvollkommen behandelt werden, weil die Beschreibung der Lichtverhältnisse in den von Altholz(-resten), Zwischen- und Unterwuchs überschirmten Verjüngungen nur indirekt, über die Kreisfläche, hatte erfolgen können. Immerhin ließen sich auch auf diesem Wege bereits erste interessante Einblicke in die Toleranzeigenschaften der Coigüe- und Rauli-Verjüngung gewinnen.

So stellte sich z.B. heraus, daß selbst unter einem Bestand von rd. $55 \text{ m}^2/\text{ha}$ Grundfläche (Parzelle NAHUEL BUTA I) noch fast 8000 Nothofaguspflanzen pro ha in der Verjüngung standen, von denen etwa 10 % zum Aufnahmezeitpunkt als "zukunftstüchtig" qualifiziert werden konnten.

In dem teilexploitierten Waldgebiet ARQUILHUE mit ziemlich gleichmäßig verteilten Altholzresten um $35 \text{ m}^2/\text{ha}$ Kreisfläche und zusätzlichem dichtem Bambusunterwuchs lag die Zahl an zukunftstüchtigen Pflanzen zwischen 400 und 1000 Stck/ha, im Mittel also in der gleichen Größenordnung. Daraus wurde geschlossen, daß der durch die Überschirmung ausgeübte starke Schattendruck von der Nothofagusverjüngung erstaunlich gut vertragen wird. Dabei gab es immer wieder Hinweise darauf, daß der als Lichtholzart eingestufte N. alpina eher noch unempfindlicher auf solchen Schattendruck reagiert, als die sogenannte Halbschattart Nothofagus dombeyi.

Diese vorläufigen Ergebnisse ließen es sinnvoll erscheinen, den Beziehungen zwischen dem Lichtklima in der Verjüngungs- etage und dem Zustand der dort vorhandenen Nothofagusver-

jüngung mit angemessenerer Methodik weiter nachzugehen. Zunächst war zu überprüfen, inwieweit sich das Lichtklima im Innern der untersuchten Beständen durch die Hilfsgröße "Bestandesgrundfläche" überhaupt zutreffend kennzeichnen läßt. Dazu wurden mit Handluxmetern Meßreihen während der Mittagszeit bei typischem Strahlungswetter erstellt und daraus Flächendurchschnittswerte für die Bestandeshelligkeit sowohl in absoluter, als auch in relativer Form (% der Außenhelligkeit) errechnet. Eine Gegenüberstellung dieser Werte mit den entsprechenden Grundflächendaten aus vier untersuchten Urwaldparzellen ergab ein Beziehungsdiagramm, das in seiner Tendenz an entsprechende, von MITSCHERLICH et al., 1967, veröffentlichte Kurven süddeutscher Nadelholzbestände erinnert (verg. Abb. 46 und 52).

In der hier zusammengestellten Versuchsreihe steigen die Grundflächenwerte von 35 m²/ha (Parzelle LOS CHENQUES) bis 91 m²/ha (Parzelle ARQUILHUE einschließlich Bambusunterwuchs) an. Demgegenüber fallen die Bestandeshelligkeiten von 15 % auf 1,5 % der Außenhelligkeit ab. Dem Kreisflächenwert der Parzelle NAHUEL BUTA von 55 m²/ha, bei dem noch eine zufriedenstellende Naturverjüngung konstatiert werden konnte, entspricht eine mittlere Bestandeshelligkeit von 7 % des Außenlichtes.

Mag es mit den ermittelten Flächendurchschnittswerten zur Mittagszeit auch gelingen, einen zweckmäßigen Vergleichsmaßstab für die Parzellen untereinander zu schaffen, so ist ihre Verwendung zur Kennzeichnung der Schattenfestigkeit von Pflanzen vom ökologischen Standpunkt aus sicher unzulässig. Streng genommen ist ein solch anspruchsvolles Ziel, wie die Festsetzung der Minimumschwelle des Lichtbedarfs von Verjüngungspflanzen am natürlichen Standort, mit den beschriebenen Mitteln gar nicht zu bewältigen. Die erstellten Tagessummen im Bereich von Pflanzen augenscheinlich minimalen Lichtgenusses sind in diesem Zusammenhang allenfalls als Orientierungshilfen aufzufassen, die unter anderem erste Hinweise

für die Anlage eines exakten Beschattungsversuchs mit sinnvollen Helligkeitsabstufungen geben können. Dabei ist es im allgemeinen vorteilhaft, mit dem intensivsten Beschattungsgrad bis hart an die Grenze des Minimumbedürfnisses der zu untersuchenden Arten heranzugehen. In diesem Sinne sind die beobachteten Tagessummen zwischen 15 und 20 Kilolux/Std an Strahlungstagen von einigem Wert. Ausgedrückt in % der Freilandsummen liegt der tägliche Lichtgenuß unter diesen Bedingungen bei ca. 3 %.

Die Helligkeitsspanne, innerhalb derer Coigüe, Raulí und auch Roble (als die wirtschaftlich interessantesten Nothofagusarten) gedeihen, ist also offenbar sehr weit, was die Erfahrungen bestätigt, die im Verlauf der Verjüngungsinventuren gewonnen werden konnten. Die waldbaulichen Perspektiven, die sich aus dieser lichtökologischen Flexibilität ableiten lassen, wurden der besseren Übersichtlichkeit halber im Zusammenhang mit den Inventurergebnissen diskutiert (s. Abschnitt 2.4).

Auf die Frage nach einer möglichen Differenzierung der genannten Arten hinsichtlich ihrer Reaktion auf Schattendruck, die im Zuge der Verjüngungsaufnahmen immer wieder aufgetaucht war, konnten die Ergebnisse der Lichtmessungen in den Urwaldparzellen keine klare Antwort erbringen. Diese spezielle Problemstellung blieb einem Beschattungsexperiment vorbehalten, das im Oktober 1971 angelegt wurde. Dabei ging es um die Entwicklung von Roble-, Raulí- und Coigüe-Sämlingen unter drei verschiedenen Beschattungsstufen über 2 Vegetationsperioden. Die Ergebnisse dieses Versuchs, der in Gemeinschaftsarbeit mit dem Waldbau-Institut der Universidad Austral ausgewertet wurde, werden in Kürze an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Zusammenfassung

In den Jahren 1969 bis 1972 wurden in der chilenischen Anden- und Küstenkordillere zwischen dem 38. und 41. Breiten-grad Untersuchungen über den Verjüngungszustand verschiedener Waldflächen im natürlichen Areal von Nothofagus alpina (POEPP et ENDL.) OERST durchgeführt. Dabei galt es im wesentlichen festzustellen, wie sich die unregelmäßigen Exploitations-hiebe, die dieser wertvollen Baumart auch heute noch gelten, auf das weitere Schicksal solcher Flächen auswirken. Mit der genannten Baumart sind gewöhnlich Nothofagus dombeyi (MIRB.) OERST., bisweilen auch Nothofagus obliqua (MIRB.) BL. vergesellschaftet, Angehörige der gleichen Gattung also, die ebenfalls von forstwirtschaftlicher Bedeutung sind und deshalb - wo vorhanden - in die Untersuchung mit einbezogen wurden.

Eine umfangreiche Literaturübersicht führt in die methodische Problematik von Verjüngungsinventuren ein. Dabei werden zunächst verschiedene Probeflächen- und Abstandsverfahren zur Einschätzung der Individuendichte in Hinblick auf ihre Anwendungsmöglichkeiten diskutiert. Weiterhin werden Methoden vorgestellt, mit Hilfe derer die Verteilung der Verjüngungspflanzen auf der Fläche beschrieben werden können. Schließlich wird auch die Frage einer praxisorientierten Qualitätsansprache der Pflanzen behandelt, ein Punkt, dem im Zusammenhang mit waldbaulichen Prognosen große Bedeutung zukommt.

Anschließend werden diejenigen Verfahren, die angesichts der zu erwartenden Verjüngungssituation in engere Wahl gezogen worden sind, einer Erprobung unter den herrschenden Freilandbedingungen unterzogen. Es werden Erfahrungen über ihre Eignung bzw. notwendige methodische Modifizierungen mitgeteilt. Angesichts der extremen Dichteschwankungen der Pflanzen über die Fläche hin bringen nur solche Probekreisverfahren befriedigend Ergebnisse, die relativ kleine Probeflächengrößen (5 m^2) und hohe Flächenaufnahmeprozente (10 bis 20 %) vor- sehen. Unter den Abstandsverfahren sind nur diejenigen ver-

wendbar, die mit Abständen höherer Ordnung (3. bis 6. Pflanze) in Sektoren arbeiten. Der Stichprobenumfang, der sich zur Einhaltung der vorher fixierten Fehlergrenze von $\pm 20\%$ als notwendig erweist, ist mit 160 Meßpunkten pro ha (40 Meßpunkte mit je 4 Sektoren) ebenfalls unerwartet hoch. Verteilungsstudien führen zu dem Ergebnis, daß die Verjüngungspflanzen in allen untersuchten Fällen starke Tendenz zur Aggregation aufweisen. N. alpina zeigt im Durchschnitt geringere Klumpungsgrade als N. dombeyi. Es wird demonstriert, daß sich die in den Probekreisen registrierten Pflanzenfrequenzen durch Kurven vom Typ der negativen Binomialverteilung ausgleichen lassen.

Nach Ausdehnung der Erfahrungen auf größere bzw. andersgeartete Untersuchungsflächen wird eine abschließende Beurteilung der erprobten Verfahren vorgenommen. Bei den Abstandsverfahren erweist sich der Zwang zur Verwendung von Abständen höherer Ordnung als starkes Handicap. In dem durchweg schwer begehbaren Gelände sind sie nur in Fällen sehr hoher Individuendichte (z.B. zur Quantifizierung der Bambusvegetation) geeignet. Bei geringerer Dichte, verbunden mit hohen Klumpungsgraden sind diese Methoden unpraktikabel und führen zu erheblichen Meßfehlern.

Unter diesen Bedingungen ist das erwähnte Probekreisverfahren ungleich geeigneter; seine Anwendungsgrenzen liegen in Populationen mit extrem hohen Individuenzahlen, wie sie u.a. in der Bambusvegetation auftreten. Dort sind selbst bei sehr kleinen Probeflächen noch erhebliche Zählfehler möglich.

Für Mischbestände, in denen zusätzlich noch Qualitätsansprachen für die verschiedenen Arten vorgenommen werden sollen, können ausschließlich Probeflächenmethoden empfohlen werden. Für die Verteilungsanalyse können wirklich aufschlußreiche Ergebnisse nur von kombinierten Verfahren erwartet werden, in denen die Dichteinformationen (Probeflächendaten) durch die Kenntnis von Abständen niedriger Ordnung ergänzt werden.

Das erprobte methodische Instrumentarium wird im zweiten Teil der Arbeit eingesetzt, um die Verjüngungssituation im Waldgürtel von N. alpina vom äußersten Süden bis in den hohen Norden seines natürlichen Areals zu erfassen. Dazu werden 5 Urwald- und 5 junge Sekundärwaldparzellen ausgeschieden. Innerhalb der Sekundärformationen wird zwischen Teil- und Totalexploitation des vorhergehenden Altbestandes differenziert.

Sämtliche P r i m ä r w ä l d e r sind gekennzeichnet durch N. alpina und N. dombeyi im Herrschenden.

Während der "valdivianische Typ" zusätzlich einen ausgeprägten Zwischenstand von Schattbaumarten beherbergt und darunter noch üppigen Unterwuchs von Bambus, Srauch- und Schattbaumarten aufweist, handelt es sich beim "Nahuelbuta-Typ"¹⁾ um einen reinen Nothofaguswald mit Plenterstruktur. Ein dritter "kontinentaler Nothofagus-Typ" zeigt trotz großer Altersunterschiede innerhalb der Bestandesglieder Einschichtigkeit. Neben den verschiedenen Waldaufbauformen werden markante Unterschiede in der Bestandesgrundfläche gefunden, die zwischen 35 m²/ha (kontinentaler Typ) und 76 m²/ha (valdivianischer Typ) liegt. Der Plentertyp nimmt eine Zwischenstellung ein (55 m²/ha).

Auf die Entwicklung von Naturverjüngung der Gattung Nothofagus haben solch unterschiedliche Altbestände einen entscheidenden Einfluß. Die mehrschichtigen "valdivianischen" Beispielflächen weisen kaum oder überhaupt keine Nothofagusverjüngung auf, wohl aber solche von Schattbaumarten. Der Plenterwald zeigt reichliche Verjüngungsreserven (8000 Nothofaguspflanzen/ha) in guter entwicklungsmäßiger Differenzierung. Der kontinentale Nothofagus-Wald weist hohe Individuenzahlen in der Verjüngung auf (25 000 Pflanzen/ha) bei unbefriedigender Differenzierung.

1) Benannt nach dem Nahuelbuta-Gebirge in der Küstenkordillere, wo dieser Waldtyp vorkommt.

Bei der Interpretation der Aufnahmeergebnisse werden auch die Resultate bodenkundlicher Analysen zu Rate gezogen.

Die Verjüngungen in teil- bzw. totalexploitierten Wäldern ergeben ein ähnlich differenziertes Bild. Während im südlichen Teilareal (Provinz Valdivia) generative Verjüngung vorherrscht, überwiegen von der Provinz Cautin nach Norden hin vegetative Entstehungsformen, wie Stockaus-schlag und (seltener) Wurzelbrut. Gleichzeitig nimmt von Süd nach Nord die Üppigkeit der Konkurrenzvegetation ab. ein wirklich schwerwiegendes Hindernis stellt in diesem Zusammenhang der Chusquea-Bambus im Bereich der Provinz Valdivia dar. Es kann jedoch nachgewiesen werden, daß diese Bambuskonkurrenz letzten Endes von der Nothofagusverjüngung überwunden wird, auch wo man dieser bei oberflächlicher Betrachtung keine Chancen eingeräumt hätte. Das gilt selbst für die totalzerstörten Flächen, in denen sich Bambus-dickichte mit mehr als 80 000 Rohren/ha und 6 m Höhe ausgebreitet haben. In solchen Chusquea-Dschungeln finden sich immer noch mehrere Tausend Pflanzen von N. alpina und N. dombeyi, von denen ca. 10 % als sichere Aufstiegspflanzen gewertet werden können.

Eine besondere Studie befaßt sich mit dem Durchsetzungsvermögen von N. alpina - und N. dombeyi - Kernwüchsen unter den schwierigen Konkurrenzbedingungen, wie sie in teil- bzw. total ausgebeuteten Exploitationsflächen der südlichen Region herrschen. In der Bambuswildnis total zerstörter Flächen lassen sich keine eindeutigen Unterschiede hinsichtlich der Konkurrenzkraft beider Baumarten feststellen. Ist dagegen zusätzlich zur Bambuskonkurrenz noch ein Schirm von Altholzresten (meist N. dombeyi) vorhanden, dann zeigt sich N. alpina in allen Fällen dem Verjüngungspartner gegenüber im Vorteil. Diese größere Unempfindlichkeit von N. alpina gegenüber Schirmdruck findet eine weitere Bestätigung in der Verjüngungssituation unter dem intakten Kronendach der lichtereren Urwaldparzellen (NAHUEL BUTA, LOS CHENQUES), in denen

sich N. alpina, wenn nicht zahlenmäßig, so doch dem Entwicklungsstande nach, dem begleitenden N. dombeyi stets überlegen zeigt.

In den Verjüngungen vegetativen Ursprungs der weiter nordwärts gelegenen Exploitationsflächen ist N. alpina ohnehin im Vorteil, durch seine Fähigkeit zum Stockausschlag. Hier ist - insbesondere in den tieferen Lagen - N. obliqua der einzige Konkurrent, während N. dombeyi durch seine Unfähigkeit zu vegetativer Vermehrung ins Hintertreffen gerät. Auch klimatisch befindet sich die letztgenannte Art hier nicht mehr in ihrem Optimum.

Aufgrund der gewonnenen Ergebnisse werden waldbauliche Maßnahmen diskutiert, die in den verschiedenen Primär- und Sekundärwaldtypen von N. alpina anzuraten sind. Dabei wird die Notwendigkeit genauerer Kenntnisse über das Schatten-ertragnis der behandelten Nothofagusarten in besonderem Maße evident.

Zusätzliche Information zur Frage der Schattentoleranz bringt eine angeschlossene lichtökologische Untersuchung, in der versucht wird, die herrschenden Lichtbedingungen in den schon bekannten Primärwaldtypen zutreffend zu charakterisieren und zu vergleichen. Dabei stellt sich eine klare grafische Beziehung zwischen Grundflächenwerten und Innenhelligkeit der Bestände heraus. Die relativen Helligkeiten schwanken von Bestand zu Bestand in einem Rahmen von 1,5 bis 16 % des Außenlichtes, gemessen bei Strahlungswetter in der Mittagszeit. Einer relativen Bestandeshelligkeit von 7 % entspricht unter diesen Bedingungen ein Wert von ca. 6500 Lux im Flächendurchschnitt. Unter solchen Helligkeitsbedingungen im Bestandesinnern gedeiht eine gut entwickelte, stammzahlreiche Nothofagusverjüngung.

Über das tatsächliche Minimumbedürfnis an Licht von Nothofaguspflanzen in der Verjüngungsetage werden anhand von Lichtsummenwerten im Bereich ausgewählter Pflanzen erste Näherungswerte erarbeitet. Die entsprechenden Tageswerte liegen

um 15 Kilolux/Std, was im Mittel etwa 3 % der Tagessummen auf der Freifläche entspricht.

Diese Ergebnisse bestätigen die relativ große Schattenfestigkeit der untersuchten Arten in Jungwuchs bzw. Dickungsalter.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

I Quellen zu den Abschnitten Einleitung, Kap. 1 und Kap. 2

- ALLEN, G.S., B.G. GRIFFITH und J.W. KER, 1951, A comparison of several regeneration survey methods in terms of cost and usefulness.
Res. Note No. 3, Fac. of For. Univ. of British Columbia: 1-6.
- ANSCOMBE, F.J., 1949, The statistical analysis of insect counts based on the negative binomial distribution.
Biometrics, 5:165-173.
- 1950, Sampling theory of the negative binomial and logarithmic series distributions.
Biometrika, 27:358-382.
- BAUERSACHS, E., 1942, Bestandesmassenaufnahme nach dem Mittelstammverfahren des zweitkleinsten Stammabstandes.
Forstw. Cbl. 64. Jg., Heft 8:182-186.
- BERNATH, E., 1940, Las hayas australes o antarticas de Chile
Editorial Ercilla S.A. Santiago. 43 pp.
- BLACKMAN, G.E., 1935, A study by statistical methods of the distribution of species in grassland associations.
Ann. of Bot. Lond., 49:749-777.
- BLISS, C.I., 1953, Fitting the negative binomial distribution to biological data.
Biometrics, 9:176-200.
- BLÜTHGEN, J. 1966, Allgemeine Klimageographie.
Walter de Gruyter, Berlin, 720 pp.
- BRAY, R., 1962, Use of non-area analytic data to determine species dispersion.
Ecology, Vol. 43, No. 2: 328-333.
- BRUN, R., 1969, Strukturstudien im gemäßigten Regenwald Südkiles als Grundlage für Zustandserfassung und Forstbetriebsplanung. 156 pp.
Diss. Naturw.-Mathem. Fak.d.Univ. Freiburg i.B.
- BUCH, M., v., 1969, Der Einfluß vulkanischer Eruptionen und Erdbeben auf die Böden Südkiles.
Z. deutsch. geol. Ges. Jahrg. 1969.
- BURSCHEL, P, O. MARTINEZ und B. MÜLLER-USING, 1970, Fundamentos ecologicos basicos de regeneración natural para planificación del aprovechamiento sostenido de bosque de Coigüe, Nothofagus dombeyi (MIRB.) OERST. y Raulí, Nothofagus alpina (POEPP. et ENDL.) OERST.
Informe preliminar Inst. Silv. y Ref. Univ. Austral de CH. 85 pp.

- CATANA, A.J., 1954, A proposed index for the measurement of aggregation in plant communities.
MS - Thesis Univ. Wisc.
- 1963, The wandering quarter method of estimating population density.
Ecology, 44, 2:349-360.
- CLARK, P.J. und F.C. EVANS, 1954, Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in population.
Ecology, 25:445-453.
- 1955, On some aspects of spatial pattern in biological populations.
Science, 121:397-398.
- CORFO, 1952, Mensura forestal de la Provincia de Valdivia Vol. I. Corporación de Fomento de la Producción, Santiago de Chile.
- COTTAM, G. und J.T. CURTIS, 1949, A method for making rapid surveys of woodland by means of pairs of randomly selected trees.
Ecology, 30:101-104.
- 1955, Correction of various exclusion angles in the random pairs method.
Ecology, 36:767.
- 1956, The use of distance measures in phytosociological sampling.
Ecology 37:451-460.
- COX, F., 1971, Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen.
Diss. Forstl. Fak. Univ. Göttingen, 182 pp.
- CURTIS, J.T. und R.P. McINTOSH, 1950, The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters.
Ecology, 31:434-445.
- DEMBICKI, H., 1953. A recommended regeneration survey system.
Res. Note No.7. Univ. of British Columbia. 9 pp.
- DICE, L.R., 1952, Measure of the spacing between individuals within a population.
Contr. Lab. Vertebr. Biol. Univ. Mich.
- DRAKE, F. und R. UNIBAZO, 1971, Comparación de métodos de inventario en regeneración de bosque nativo.
Tesis, Univ. Austr. de Chile, Fac. Ing. For. 64 pp.
- EBERHARDT, L.L., 1967, Some developments in distance sampling.
Biometrics, 23:207-217.
- ESPINOZA, M., 1972, Alcances sobre las condiciones de luz como factor importante en la regeneración natural del bosque tipo Raulí (*Nothofagus alpina*, [POEPP. et ENDL.], KRASSER) y Coigüe (*Nothofagus alpina* [MIRB.] OERST.)
Tesis, Univ. Austr. de Chile, Fac. Ing. For. 76 pp.

- ESSED, F.E., 1954, Estimation of standing timber.
Med. Landbouwhoghschool Wageningen, 57, 5:1-60.
- FAO, 1973, Chile: El manejo de las reservas forestales chilenas de Malleco y Malalcahuello.
Inf. tecnico No. 2, Rom. 39 pp.
- FISCHER, R.A., 1941, The negative binomial distribution.
Annals of Eugenics 11, 182-187.
- GREIG-SHMITH, P., 1964, Quantitative plant ecology.
London, 256 pp.
- HAMMING, R. und E. GILBERT, 1954, Probability of occurrence of a constant number of isolated pairs in a random population.
Univ. of Wisc. in Comp. News No. 32.
- HOPKINS, B., 1954, A new method for determining the type of distribution of plant individuals.
Ann. Bot. Lond. N.S., 18:213-227.
- HUECK, K., 1966, Die Wälder Südamerikas.
Stuttgart, 422 pp.
- INSTITUTO FORESTAL, 1967, Clasificación preliminar del bosque nativo en Chile.
Informe tecnico No. 27, Santiago de Chile, 16 pp.
- 1970, Boletín Informativo No. 22.
Santiago
- 1972, Boletín Estadístico Año I, No. 9 y 10.
Santiago
- INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR, 1970, Atlas de la Republica de Chile.
Santiago
- KER, J.W., 1954, Distribution series arising in quadrat sampling of reproduction. Journ. of For., 52:838-841.
- KÖHLER, A., 1952, Vorratsermittlung in Buchenbeständen nach Baumdurchmesser und Stammabstand.
Allg. Forst- u. Jagdztg. 123:69-74.
- KOZDON, P., 1958, Die autochtonen Baumarten und die forstlichen Verhältnisse der südl. (subantarktischen) Andenkordillere.
Schweiz. Zeitschr. Forstwesen, 6:325-347.
- LOETSCH, F. und K.E. HALLER, 1964, Forest Inventory Vol. I
BLV-Verlag, München, 436 pp.
- 1965, Verjüngungsinventur in Wunsiedel.
unveröffentlicht
- LOETSCH, F., F. ZÖHRER und K.E. HALLER, 1973, Forest Inventory Vol. II.
BLV-Verlag, München. 469 pp.

- LOETSCH, F., 1973, Prüfung von Verteilungsart und Dichte der Verjüngung mit Hilfe des Nullflächendiagramms. Forstarchiv, 44:77-83.
- LOWDERMILK, W.C., 1921, A unit of area as unit of restocking. U.S. For. Serv., Miss. Mont. For. Notes No. 17:1-3.
- MEDINA, G. und F. OJEDA, 1972, Alcances sobre el comportamiento regenerativo del Raulí, Nothofagus alpina (POEPP. et ENDL.) OERST. y sus principales especies asociadas. Tesis, Univ. Austr. de Chile, Fac. Ing.For. 82 pp.
- MOLL, W., 1964, Nährstoffversorgung von Fichtenbeständen im Nordschwarzwald. Schriftenreihe der Forstl. Abt. d. Univ. Freiburg i.B. Heft 4:252-265.
- 1971, Bericht über die Ergebnisse von Bodenanalysen aus Naturwaldflächen von Nothofagus alpina an das Waldbau-Institut der Univ. Austr.de Ch. unveröffentlicht.
- MOORE, P.G., 1954, Spacing in plant populations. Ecology, Vol. 35:222-227.
- MORISITA, M., 1954, Estimation of population density by the spacing method. Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E. 1:187-197.
- 1957, A new method for the estimation of density by the spacing method applicable to non-randomly distributed populations. Seiro Seitai (Physiology and Ecology) Vol. 7, 2:134-144.
- MUEGGLER, W.F., 1953, The use of distance measures in the study of plant dispersion. MS Thesis, Univ. Wisc.
- MUÑOZ, C., 1963, Nuevo metodo en la ensenanza de las ciencias naturales. Univ. de Ch., Boletin No. 41 (31-40)
- 1966, Sinopsis de la flora chilena. Ediciones de la Univ. de Ch., Santiago, 500 pp.
- OBERDORFER, E., 1960, Pflanzensoziologische Studien in Chile. Flora et Vegetatio Mundi, Band 2, Weinheim, 208 pp.
- ORTIZ, M., 1957, Plan de Ordenación para la Reserva Forestal de Llancacura. Examensarbeit, Forstl. Fak. d. Univ. de Ch., Santiago.
- PERSSON, O., 1964, Distance Methods. Studia forestalia Suecia, Nr. 15, 68 pp, Stockholm.
- 1969, The robustness of estimating density by distance measurements. Dep.For. Biom., Royal Coll. For., Stockholm, 17 pp.

- PIELOU, E.C., 1959, The use of point-to-plant distances in the study of the pattern of plant populations. Journ. of Ecology 47:607-613.
- PRODAN, M., 1965, Holzmeßlehre. Verlag Sauerländer, Frankfurt/M., 644 pp.
- 1968, Punktstichprobe für die Forsteinrichtung. Der Forst- u. Holzwirt, 23:225-226.
- REICHE, K., 1907, Grundzüge der Pflanzenverbreitung in Chile. Die Vegetation der Erde. Bd VIII Verl. W. Engelmann, Leipzig, 374 pp.
- ROCQUANT, L., 1969, Raleos en renouales de Roble (Nothofagus obliqua (MIRB.) OERST.) y Raulí (Nothofagus alpina POEPP. et ENDL.) en la cordillera de Nahuelbuta. Circular informativa No. 26, Univ. de Concepción, Escuela de agronomía, Chillan, 8 pp.
- ROSENFELD, M., 1971, Desarrollo de la regeneración de Raulí y Coigüe bajo diferentes grados de luminosidad. Tesis, Univ. Austr. de Chile, Fac. Ing. For. 60 pp.
- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL, 1970, Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart, Z. Aufl. 448 pp.
- SCHÖPFER, W., 1969, Die 6-Baum-Stichprobe in der Forsteinrichtung Allg. Forst- u. Jagdztg., 24, 26:533-536 und 29:588-590.
- SCHMITHÜSEN, J., 1953, Die Grenzen der chilenischen Vegetationsgebiete. Tag.ber. d. Deutschen Geographentages, Essen, : 101-108.
- 1959, Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. Bonner geogr. Abh. Bd. 17:1-89.
- SMITH, J.H.G. und KER, J.W., 1957, Some distributions encountered in sampling forest stands. Forest Science, Vol. 3, 2:137-144.
- SMITH, J.H.G., R.M. NEWHAM und J. HEJJAS, 1965, Importance of distribution and amount of mortality can be defined by simulation studies. Commonwealth Forestry Review, Vol. 44 (3) No. 121:188-192.
- STOFFELS, A., 1955, Die Genauigkeit der Bestimmung der Stammzahl pro Hektar durch die Messung von Stammabständen. Forstwiss. Centralbl., 74:211-218.
- STRAND, L., 1953, A measure of the distribution of individuals over a certain area. Medd. Norske Skogsforsøksv., 12:191-207.

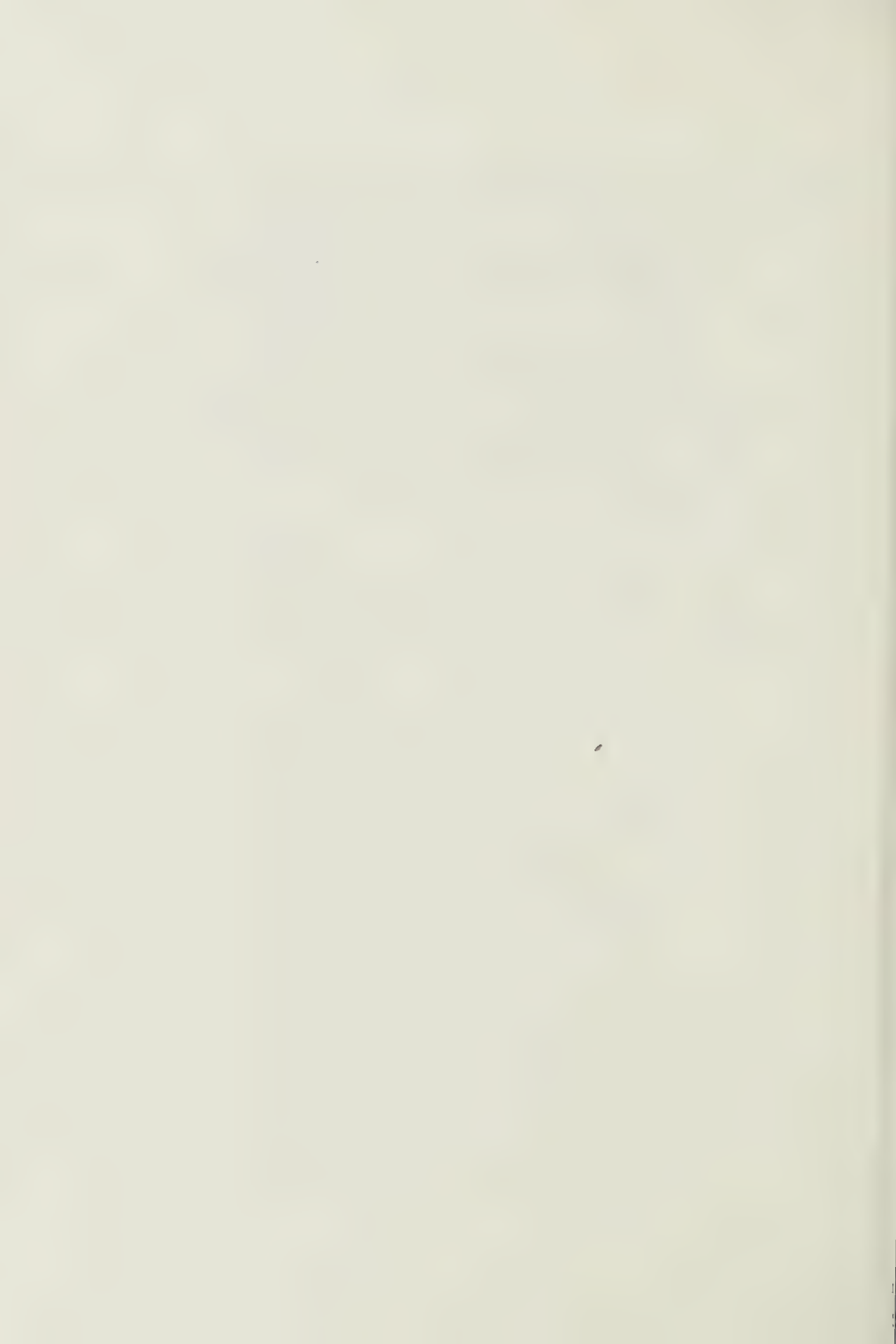
- VALENZUELA, H., 1967, Nociones de Silvicultura.
Instituto Forestal, Manual No. 3, 283 pp.
- VOLLMER, U., 1972, Beziehungen zwischen der Intensität und dem
Arbeitskräftebedarf der Forstwirtschaft in
einem Entwicklungsland.
Diss. Forstwissenschaftl. Fak. Univ. Freiburg
i.B. 305 pp.
- WADSWORTH, R., 1971, Aspectos ecologicos y crecimiento de Raulí
y sus asociados en bosque de segundo crecimiento
en las Provincias de Bío-Bío, Malleco y Cautín
(Chile).
Manuskript Fac. Ing. Forest. Univ. de Ch.,
Santiago.
- WECK, J., 1955, Vorratsermittlung durch Abstandsmessung.
Zeitschr. Weltforstwirtschaft., 18.
- WECK, J., 1957, Economía forestal y maderas en Chile.
Informe als Ministerio de Economía, Santiago
- WEINBERGER, P., 1972, Beziehungen zwischen mikroklimatischen
Faktoren und natürlicher Verjüngung der arau-
kano-patagonischen Nothofagusarten.
Flora, Bd. 162; S. 157-179.
- WEISCHET, W., 1970, CHILE, seine länderkundliche Individualität
und Struktur.
Wissenschaftl. Buchgesellschaft, Darmstadt,
618 pp.

II Quellen zu Kap. 3

- BRECHTEL, H.M., 1962, Methodische Beiträge zur Ökologie der
Überschirmung und Auflichtung einschichtiger
Waldbestände.
Schriftenreihe der Landesforstverwaltung
Baden-Württemberg, Bd. 14.
- BURSCHEL, P. und J. SCHMALTZ, J., 1965, Die Bedeutung des Lichtes
für die Entwicklung junger Buchen.
Allgem. Forst- und Jagdztg. 126:193-210.
- FAIRBAIRN, W.A., 1961, Light intensity measurements in Bowmont
forest.
Scottish Forestry, 15:153-159.
- 1963, The importance of solar radiation in
forest regeneration by groups.
Biometeorology, 2 (2): 755-760.
- GATHERUM, G.E., 1961, Variation in measurement of light intensity
under forest canopies.
For. 7:144-145.

- HUSS, J., 1971, Untersuchungen über die Wirkung von Beschattung und Düngung auf das Wachstum junger Fichten.
Habilitationsschrift Forstl. Fak. Univ. Göttingen
251 pp.
- KOLIC, B. und JOVANOVIĆ, 1969, Određivanje oduosa sumskih vrsta drveća prema svetlosti jedinom novom metodom marsrutnog merenja intenziteta osvetljenja.
Sumarstvo, 11/12:13-21.
- LOGAN, K.T. und E. PETERSON, 1964, A method of measuring and describing light patterns beneath the forest canopy.
Dept. of Forestry Publ. No. 1073, 26 pp.
- LULL, H. und J. REIGNER, 1967, Radiation measurements by various instruments in the open and in the forest.
U.S. Forest Serv., Research Paper NE-84, 21 pp.
- MILLER, D.H., 1959, Transmission of insolation through pine forest canopy as it affects the melting of snow.
Schweiz. Anst. f. Forstl. Versuchsw. Mitt.
35:57-79.
- MITSCHERLICH, G., E. KÜNSTLE und W. LANG, 1967, Ein Beitrag zur Frage der Beleuchtungsstärke im Bestande.
Allgem. Forst- und Jagdztg. 138:213-223.
- NÄGELI, W., 1940, Lichtmessungen im Freiland und im geschlossenen Altholzbeständen.
Schweiz. Anst. f. Forstl. Versuchsw. Mitt.
21 (2):250-306.
- OVINGTON, J. und H. MADGWICK, 1955, A comparison of light in different woodlands.
Forestry 28:141-146.
- REIFSNYDER, W. und H. LULL, 1965, Radiant energy in relation to forests.
U.S. Dept. Agr. Rech. Bull. 1344, 111 pp.
- RÜHRIG, E., 1967, Wachstum junger Laubholzpflanzen bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen.
Allg. Forst- u. Jagdztg., 138:224-239.
- SAUBERER, F. und O. HÄRTEL, 1959, Pflanze und Strahlung.
Akadem. Verlagsges. Geest und Portig K.G., Leipzig.
- SCHOMAKER, C.E., 1968, Solar radiation measurements under a Spruce and a Birch canopy during May und June.
Forest Science 14:31-38.
- Steel, R.G. und J. TORRIE, 1960, Principles and procedures of statistics - with special reference to biological science.
8. Aufl. McGraw-Hill, New York.
- TRAPP, E., 1938, Untersuchungen über die Verteilung der Helligkeit in einem Buchenbestand.
Bioklimatische Beibl. der meteorologischen Zeitschr., Wien, S. 153-158.

- VEZINA, P. und G. PECH, 1964, Solar radiation beneath conifer canopies in relation to crown closure.
Forest Sci. 10:443-450.
- VEZINA, P. und BOULTER, D. The spectral composition of near ultra violett and visible radiation beneath forest canopies.
Can, J, Bot. 44:1267-1283.
- VYNCKE, G., 1969, Etude du rapport entre l'éclairement relatif sous forêt et l'éclairement lumineux incident en phénophase feuillée.
Silva Gandavensis, No. 16, 15 pp.
- WEINBERGER, P., 1972, Beziehungen zwischen mikroklimatischen Faktoren und natürlicher Verjüngung der araukano-patagonischen Nothofagusarten.
Flora, Bd.162, S. 157-179.



L e b e n s l a u f

Am 26. 12. 1939 wurde ich als Sohn des Zoologen Dr. Detlev Müller-Using und seiner Ehefrau Dr. Ruth, geb. Wallroth in Hannoversch Münden geboren.

Nach Volksschul- und Gymnasialzeit in meiner Geburtsstadt legte ich 1959 dort das Abitur ab. Anschließend leistete ich einen verlängerten Wehrdienst, den ich im Frühjahr 1961 mit dem Dienstgrad eines Leutnants der Reserve beendete. Während dieser Zeit war ich von der Niedersächsischen Landesforstverwaltung für den höheren Forstdienst angenommen worden und absolvierte von 1961 bis 1962 mein praktisches Lehrjahr im Reg. Bezirk Hildesheim.

Das Forststudium nahm ich an der Universität Göttingen auf, wo ich im Frühjahr 1964 die Vorprüfung ablegte. Mit einem Semester in Freiburg i. Brsg. und einem vollen Studienjahr an der damaligen Ecole Nationale des Eaux et Forêts in Nancy, Frankreich setzte ich meine forstliche Ausbildung fort. Nach zwei weiteren Fachsemestern in Göttingen schloß ich dort im August 1966 mein Studium mit der Diplomprüfung ab.

Es folgten Referendarzeit und Staatsexamen im Lande Niedersachsen.

Im Sommer 1969, nach kurzer Assistentenzeit am Waldbauinstitut der Forstlichen Fakultät Göttingen, erhielt ich ein Stipendium des DAAD, mit Hilfe dessen ich ein langgehegtes Promotionsvorhaben in Chile in Angriff nehmen konnte. Für drei Jahre siedelte ich mit meiner Familie nach Valdivia über, wo ich am Waldbauinstitut der Universidad Austral de Chile unter der Anleitung von Herrn Prof. Dr. Burschel meine Tätigkeit aufnahm. 1970 bekam ich einen Anstellungsvertrag von der Deutschen Förderungsgesellschaft für Entwicklungsländer (GAWI) und übernahm im Rahmen des deutschen Bildungshilfeprojekts in Valdivia eine Dozentenstelle für das Fach Forstpolitik.

Seit meiner Rückkehr im Juli 1972 bin ich als Forstschullehrer an der Nds. Forstschule in Düsterntal tätig.





